

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE CÁLCULO  
PARA A AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE LEGAL E NORMATIVA  
DAS EMISSÕES DE POLUENTES GASOSOS DO PROCESSO  
PRODUTIVO DA PINTURA AUTOMÓVEL**

**ÁLVARO MIGUEL ALONSO DA SILVA PINTO DE OLIVEIRA**

Dissertação submetida para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**Orientador académico:** Dra. Joana Cristina Cardoso Guedes  
(Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Engenharia de Minas da  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

**Co-orientador académico:** Dr. Nélon Rodrigues  
(Investigador do Departamento de Produção e Sistemas da Universidade do Minho)

**Orientador na empresa:** Eng<sup>a</sup> Cristina Rocha  
(Coordenadora do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança  
do Grupo NORS)

Junho, 2017



## AGRADECIMENTOS

Sim, terminou, após quase 5 anos da minha vida nesta casa que ajudou a moldar a pessoa que sou hoje, não só no âmbito profissional mas sobretudo pessoal, estou eternamente grato.

Aos meus pais, pelo forte e caloroso apoio, por me terem ensinado tudo o que sabem, e com orgulho poder dizer que tenho os melhores pais do mundo. Sim, sem vocês isto seria muito difícil.

À Rita, por me teres ensinado diversas coisas, como por exemplo, uma nova definição de mau humor às refeições ou o que é um mortal encarpado com pirueta à retaguarda. Obrigado.

À Catarina, por todo o apoio e solidariedade ao longo destes 5 anos, pelas boas sensações e memórias que guardo nossas. Foste Essencial. Obrigado por tudo.

À Alba, a minha gata, por todos os momentos bem passados ao longo destes 6 anos connosco, por me teres posto sempre disposto e com um sorriso na cara.

Ao Hélder, Mini, Ricardo, Simões, Rita, Luís, Marisa, Neto e Moisés por me terem acompanhado e aturado ao longo destes anos desde o secundário. Um Muito Obrigado.

Ao Ramos, Miguel, Amorim e Cata, por estes 5 anos de curso, de entreajuda e companheirismo. Muito Obrigado.

À Sala de Ambiente, Campos, Pedro, Gui, Rita, Maria, Tchabe e Sofia, obrigado por este último ano completamente novo para mim, obrigado pelas sessões de estudo, pelas sessões das 4 da manhã e pelas saídas absolutamente incríveis. Um Obrigado.

Um agradecimento especial à professora Joana Guedes, por me ter orientado, e muito bem, nestes últimos meses, pela disponibilidade e solidariedade que sempre demonstrou.

À minha orientadora da empresa, Cristina Rocha e à restante equipa, que sempre demonstraram disponibilidade e muita solidariedade nestes últimos tempos. Obrigado por estes 5 meses.

À parte da família Alonso da Silva, por estarem sempre disponíveis para me darem apoio, força e lugar de garagem nestes 5 anos da minha vida. Um muito obrigado.

A toda a minha família Oliveira, pelos almoços e jantares, pelas brincadeiras, pelas discussões de política e futebol. Um muito Obrigado.

E por último, aos meus avós, que embora já não estejam cá, me acompanharam até ao início da minha vida académica, obrigada pelos ensinamentos e por terem feito a pessoa que sou hoje. Um eterno Obrigado.



## RESUMO

O processo produtivo da pintura automóvel no interior das estufas apresenta um grande risco associado de contaminação química. Os produtos utilizados no processo, tanto na composição do primário, como na composição da tinta e do verniz, possuem uma base de solvente, constituído por COV's. Estes, além dos problemas ambientais associados, na formação de ozono troposférico, também a nível ocupacional têm repercussões graves, principalmente a nível respiratório.

Este projeto tem como principal objetivo, o desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo, estritamente analítica, que permita verificar a conformidade legal e normativa das emissões ambientais e ocupacionais no interior da estufa de pintura. Além da verificação da conformidade, pretende-se avaliar os métodos estruturais aplicados, como o caudal de ventilação e os métodos de protecção individual. Para o desenvolvimento e validação da exequibilidade da ferramenta, realizou-se uma avaliação de um caso prático devidamente detalhado com as diferentes etapas de cálculo.

Para o caso prático avaliado, conclui-se que as emissões a nível ambiental e ocupacional estavam em conformidade legal e normativa. No entanto relativamente às emissões ocupacionais, para um dos efeitos, a conformidade verifica-se, mas a concentração ultrapassou para este efeito o valor de acção, sendo recomendável, monitorizar e implementar medidas de prevenção. Para os métodos estruturais e de protecção individual adoptados pela empresa, verifica-se que a máscara de protecção individual corresponde às exigências da atmosfera de trabalho. O mesmo não acontece com o caudal de ventilação que apresenta um défice para um dos efeitos. As emissões ambientais não apresentam qualquer tipo de preocupação legal, nem as que têm origem na estufa nem na caldeira de aquecimento

Propõem-se algumas medidas futuras a implementar para melhorar pontos sensíveis do processo produtivo, designadamente, a substituição dos atuais produtos de base de solvente por produtos de base aquosa, a substituição do diisocianato de hexametileno, presente no verniz, responsável pelos “elevados” índices, devido ao seu valor limite ser muito baixo, e a substituição do combustível utilizado na caldeira de aquecimento, gasóleo por gás natural, visto que este além de apresentar uma redução de emissões dos produtos de combustão é economicamente mais viável.

**Palavras-chave:** estufa, processo produtivo, pintura automóvel, ambiente, exposição profissional



## ABSTRACT

The production process of automotive paint inside the painting greenhouse presents a high risk of chemical contamination. The products used in the process, in the composition of the primer, paint and varnish, have a solvent base with a high concentration of VOC's. These, besides, the associated environmental problems in the formation of tropospheric ozone, among others, at an occupational level, have serious repercussions, especially at a respiratory level.

The main objective of this project is the development, strictly analytical, of a calculation tool to verify the legal and normative compliance of environmental and occupational emissions inside the painting greenhouse. In addition to the legal conformity, it's intended to evaluate the applied structural methods, such as ventilation flow and individual protection methods. For the development and validation of the tool, an evaluation of a practical case was duly detailed with different calculation steps and a comparison to a report from an outside company.

It is concluded that the environmental and occupational emissions were legally and normatively compliant. However, even though the occupational emissions compliance, for one of the effects, it is verified that the concentration has exceeded the action value, and it is advisable to monitor and implement preventive measures. For the structural and personal protection methods adopted by the company, it is found that the protective mask meets the requirements of the working atmosphere. The same does not happen with the ventilation flow in which it presents a deficit for one of the effects. The Environmental emissions do not present any type of legal concern, neither those that originate in the interior of the greenhouse or the heating boiler.

Some future improvements are proposed to improve some sensitive points, such as replacing existing solvent-based products for aqueous-based products, replacing hexamethylene diisocyanate, present in the varnish, which is mainly responsible for the "high", values for one of the effects due to its very low limit, and the change of the fuel used in the heating boiler, gas oil by natural gas, which shows that the reduction of emissions of combustion products is economically more feasible.

**Key-words:** greenhouse, productive process, car painting, environment, professional exposition





## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

1. Introdução .....	1
1.1 Contexto Geral .....	1
1.2 Justificação do tema .....	1
1.3 Apresentação da empresa.....	2
1.4 Descrição do Documento .....	4
2. Estado de Arte .....	5
2.1 Poluição Atmosférica .....	6
2.1.1 Influência dos COV's – Ambiental e Ocupacional.....	6
2.2 Tintas e a sua aplicação .....	8
2.3 Valores-Limite de Exposição.....	9
2.3.1 Valores-limite de Exposição para misturas .....	10
2.3.2 Nível de Acção .....	11
2.4 Sistemas de Ventilação .....	11
2.4.1 Ventilação geral diluidora .....	13
2.4.2 Ventilação localizada .....	13
2.5 Equipamentos de Protecção Individual (EPI's).....	15
2.5.1 Protecção das Vias Respiratórias .....	16
2.6 Enquadramento Legal e Normativo .....	17
2.6.1 Legislação ambiental.....	17
2.6.2 Legislação Ocupacional .....	18
2.7 Objetivos .....	19
3. Metodologia .....	20
3.1 Caso Prático: Oficina de Ligeiros .....	20
3.1.1 Etapas do processo produtivo .....	20
3.1.2 Conhecimento dos Produtos Químicos .....	21
3.2 Cálculos Auxiliares .....	23
3.3 Taxa de Geração e Concentração Instantânea de Contaminante.....	24
3.3.1 Regime Estacionário .....	26
3.3.2 Regime não estacionário .....	27

3.4 Massa de contaminante .....	27
3.5 Balanço de massa .....	28
3.6 Taxa de Geração e Concentração Instantânea de Contaminante por fixação .....	29
3.7 Verificação da conformidade legal .....	30
3.7.1 Conformidade Ocupacional .....	30
3.7.2 Conformidade com a Legislação Ambiental .....	32
3.8 Emissões de COV's pela caldeira de aquecimento .....	33
4. Resultados e Discussão .....	34
4.1 Inventário e Cálculos Estruturais .....	35
4.2 Balanço de Massa.....	36
4.3 Taxa e Concentração Instantânea de contaminante .....	38
4.4 Conformidade Legal – Ambiente e Ocupacional .....	42
4.4.1 Verificação da Conformidade Legal e Normativa - Ocupacional .....	42
4.4.2 Verificação da Conformidade Legal - Ambiente .....	49
5. Conclusão.....	53
5.1 Considerações ao projeto realizado.....	54
5.2 Perspetivas futuras .....	55
Anexo 1 Processo Produtivo da Pintura Automóvel .....	62
Anexo 2 Desenvolvimento da equação do caudal necessário, $Q_{necessário}$ .....	66
Anexo 3 Desenvolvimento da ponderação para os tempos de exposição .....	68
Anexo 4 Balanço de massa no interior da estufa de pintura.....	70
Anexo 5 Tabelas e Gráficos de apoio .....	72
Anexo 6 Legislação ambiental.....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Empresas do Grupo NORS.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2. Reacção de formação de Ozono na atmosfera e na troposfera.(APA,nd).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Ventilação diluidora durante o processo produtivo da pintura automóvel (HSE, 2011).....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4. Ventilação localizada: a) Ventilação fechada por captura de contaminante; b)Ventilação não fechada por captura de contaminante; c) Ventilação não fechada por geração e captura de contaminante. (HSE,2011) .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. Planta da oficina-Volvo: 1) Estufa de Pintura; 2) Forno (GRUPO NORS,2017). .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 6. Diagrama de processo no interior da estufa.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 7. Evolução do fluxo de massa por fixação.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Taxa de Geração para os diferentes componentes do Primário.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Evolução da concentração instantânea com a fixação .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10. Evolução da concentração na atmosfera de trabalho no interior da estufa - Verniz.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 11. Representação das duas estufas de pintura, em cima, e do forno, em baixo</i>	<i>63</i>
<i>Figura 12. Sala de preparação do primário, tinta e verniz .....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 13. Automóvel no interior da estufa de pintura pronto para o processo produtivo .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 14. Sistema de ventilação da estufa de pintura, com a zona extração e insuflação .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 15. Processo produtivo de pintura de uma mala.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 16. Evolução do Balanço de massa do primário.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 17. Evolução do Balanço de massa da tinta.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 18. Evolução do Balanço de massa do verniz .....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 19. Variação da taxa de geração para diferentes fixações para o primário .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 20. Variação da taxa de geração para diferentes fixações para a tinta .....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 21. Variação da concentração instantânea de contaminante por fixação para o primário.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 22. Variação da concentração instantânea de contaminante por fixação para a tinta.....</i>	<i>77</i>

*Figura 23. Evolução da concentração na atmosfera de trabalho durante o tempo de aplicação e repouso..... 78*

*Figura 24. Evolução da concentração na atmosfera da estufa durante o período de aplicação e repouso..... 78*

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1. Ficha descritiva: utilização de produtos químicos (Adaptado de Fundacentro, 2015).....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 2. Variáveis do balanço de massa .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 3. Tabela-tipo para uma análise ocupacional.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 4. Dados Estruturais da estufa de pintura .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 5. Cálculos das características do momento de aplicação do produto.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 6. Valores da taxa de geração e concentração instantânea do contaminante do primário.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabela 7. VLE's dos componentes presentes nas três etapas do processo de pintura... </i>	<i>43</i>
<i>Tabela 8. Verificação da conformidade legal VLE-MP .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 9. Verificação da conformidade legal VLE-CD .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 10. Cálculo do caudal necessário para diluição - VLE-MP .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 11. Cálculo do caudal necessário para diluição dos contaminantes - VLE-CD</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 12. Emissões da caldeira de combustão.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 13. Verificação da conformidade legal ambiental - COV's e Benzeno.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 14. Empresa Externa: Valores da caracterização de efluentes gasosos da estufa de pintura.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 15. Tempo de aplicação dos produtos .....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 16. COV's e respetiva percentagem de volume.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 17. Tempo de evacuação de contaminante sem geração de contaminante.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 18. VLE<sub>em</sub> para a caldeira (Adaptado das portarias nº 677/2009 &amp; 675/2009, 2017).....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 19. VLE<sub>em</sub> e Limiares mássicos para a estufa de pintura .....</i>	<i>79</i>

## **GLOSSÁRIO/SIGLAS/ABREVIATURAS/...**

COV's: Compostos orgânicos voláteis

EPI: Equipamentos de Proteção Individual

FDS: Fichas de Dados de Segurança

SNC: Sistema Nervoso Central

TRS: Trato Respiratório Superior

VLE<sub>em</sub>: Valor Limite de Emissão

VLE<sub>exp</sub>: Valores Limite de Exposição

VLE - MP: Valor Limite de Exposição de Média Ponderada

VLE - CD: Valor Limite de Exposição de Curta Duração

# 1. Introdução

## 1.1 Contexto Geral

Compostos orgânicos voláteis (COV's) são substâncias com elevada pressão de vapor, ou seja, são facilmente vaporizados às condições de temperatura e pressão ambiente. Os COV's abrangem hidrocarbonetos saturados e insaturados (alcanos e alcenos) e hidrocarbonetos oxigenados, como ácidos carboxílicos, aldeídos, cetonas, éteres, ésteres e álcoois. Os COV's também podem ser classificados como qualquer composto de carbono que participa nas reações fotoquímicas que ocorrem na atmosfera, com exceção do monóxido de carbono e do dióxido de carbono (Martins, 2004; Schirmer & Lisboa, 2008; Ligor *et al.*, 1998).

Segundo Borrego (2010), a poluição atmosférica é a “presença na atmosfera de substâncias ou energia que exerçam uma ação nociva suscetível de colocar em risco a saúde humana, de causar danos aos recursos biológicos e aos ecossistemas, de deteriorar os bens materiais e de ameaçar ou prejudicar o valor recreativo ou outras utilizações legítimas do ambiente.”

Uma atmosfera limpa, não poluída é considerada pela *World Health Organization* (2005) como um dos requisitos básicos para a saúde humana e o seu bem-estar, porém, a poluição atmosférica continua a ser considerada um fardo pesado e uma ameaça à saúde das populações, sendo responsável por mais de dois milhões de mortes prematuras por ano (WHO, 2005).

Estima-se que aproximadamente 1,8 bilhões de toneladas de COV's são emitidos por ano na atmosfera, onde 500 milhões de toneladas são de hemiterpenos e 130 milhões de monoterpenos, que estão presentes nas plantas mais concretamente no verniz. Estima-se, também, que as emissões biológicas são 7 vezes maiores que as emissões de COV's antropogénicas. (Aquino, 2006)

Segundo Ribeiro (1998), o automóvel tornou-se um indicador de qualidade de vida, acessível a um número crescente de consumidores, informados e exigentes em relação à expectativa do grau de satisfação do produto. Um século depois do aparecimento do primeiro automóvel, este evoluiu de uma “carroça motorizada”, para um produto de alta tecnologia onde são aplicados materiais de última geração. Esta evolução para as oficinas de reparação automóvel tornou-se numa atividade de investimento intensivo, exigindo profissionais muito mais qualificados que outrora, que provocaram mudanças estruturais, organizacionais e comportamentais nas empresas do setor.

## 1.2 Justificação do tema

O processo de pintura automóvel é o que engloba a maior fatia no impacto ambiental, de entre todos os estágios da manufatura e da reparação automóvel. (Papavasiliou *et al.*, 2001)

Segundo Ribeiro (1998), o trabalhador de uma oficina mecânica, está sujeito a determinados riscos, do processo que está a realizar e de outros a serem realizados na sua envolvente, nomeadamente, o ruído, a vibração, os agentes químicos e o risco elétrico.

Conjetura-se que entre 80 a 90% das emissões do fabrico automóvel estão associadas à etapa da pintura e que esta é responsável por mais de 95% da emissão de COV's. (Geffen & Rotenberg, 2000)

Os COV's quando expostos à radiação solar e a óxidos de nitrogénio formam ozono e smog como resultado de reacções fotoquímicas. (Weiss, 1997; Geldermann *et al.*, 2007)

O risco químico afeta não só o ambiente, mas também os trabalhadores expostos aos agentes químicos. Estes, podem ser tanto poeiras como gases e vapores, estando relacionados com doenças pulmonares crónicas e até fatais, como o cancro ou a bronquite.

Apesar de todos os esforços realizados para diminuir esta incidência, segundo a WHO (2017), estima-se que, em 2016, pelo menos 4,3 milhões de pessoas em todo o mundo tenham morrido por causa da poluição atmosférica e que em 2012, o uso dos chamados combustíveis sólidos, para aquecimento das casas, como o carvão ou a madeira, provocaram mais de 4,5 milhões de mortes. Acrescenta ainda, que em 2014, 92% da população mundial vivia em locais onde as normas da OMS relativas à qualidade do ar não foram cumpridas.

### **1.3 Apresentação da empresa**

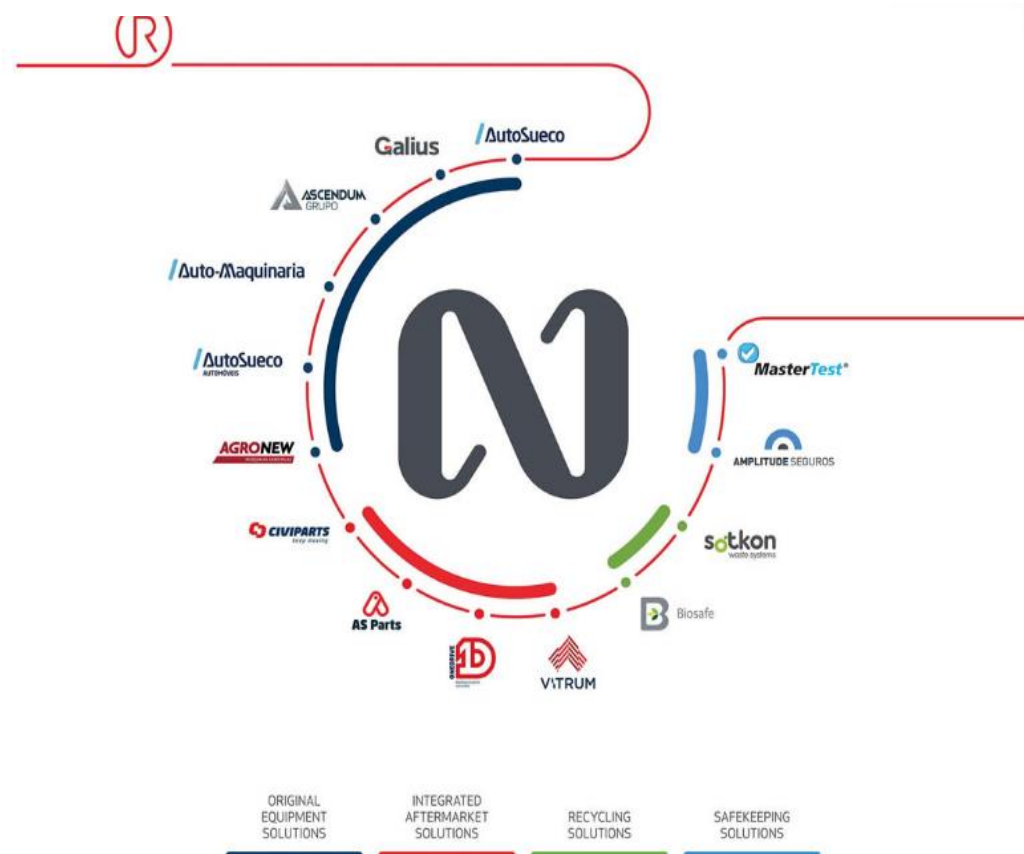


A NORS, empresa portuguesa, é um dos líderes mundiais em soluções de transporte, equipamentos de construção e agrícolas, estando presente em vinte e três países e três Continentes.

Historicamente associada à liderança no setor automóvel, o Grupo NORS é hoje uma multinacional com um âmbito de atuação alargado, que desenvolve as suas quatro grandes áreas de negócio: **Original Equipment Solutions, Integrated Aftermarket Solutions, Recycling Solutions e Safekeeping Solutions.**

Na figura seguinte, apresenta-se as empresas do Grupo NORS, nacionais e internacionais.

Figura 1. Empresas do Grupo NORS.



As empresas do Grupo, nas quais o Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança presta serviços, estão descritas abaixo.

**Auto-Sueco (ASLD)** – Empresa fundadora do grupo, importadora e distribuída de camiões, autocarros e motores marítimos, Volvo para Portugal.

**Auto-Sueco Automóveis (AMAZ)** – Empresa de retalho e venda automóvel, com concessionários multimarca, no Porto (Volvo, Mazda e Honda), Lisboa (Volvo, Land Rover e Jaguar) e unimarca, Braga e Guimarães (Volvo).

**Galius** – Empresa, importadora e distribuidora, exclusiva de camiões Renault para Portugal, com atividades de venda e após-venda.

**Civiparts e AS Parts** - Importadores e distribuidores, peças e equipamentos, oficinais para veículos pesados e ligeiros, respetivamente.

## 1.4 Descrição do Documento

O presente projeto aborda o trabalho realizado, durante 5 meses, na oficina de automóveis Volvo (AMAZ), do Grupo NORS.

Numa primeira fase foi realizada uma pesquisa bibliográfica intensiva, sobre as etapas do processo produtivo da pintura automóvel e os seus componentes, de forma a efetuar uma análise mais completa e profícua.

Esta dissertação está dividida num total de 5 capítulos de corpo de texto. Para uma melhor compreensão, apresenta-se uma breve descrição de cada capítulo.

O capítulo 1, a introdução, inicia a apresentação do tema, justifica a realização do projeto e uma breve apresentação da empresa onde o projeto foi desenvolvido.

O capítulo 2 apresenta o enquadramento do processo produtivo, abordando os pontos principais da temática ocupacional e ambiental.

O capítulo 3, além de apresentar uma breve descrição do caso prático, apresenta uma cronologia detalhada, das etapas do processo de cálculo, bem como a base da sua aplicação.

No capítulo 4 estão discriminados os resultados obtidos, realizando-se uma pequena discussão sobre estes.

O capítulo 5 reúne a conclusão dos resultados obtidos, com considerações sobre o projeto realizado e uma proposta de melhorias futuras a realizar.

## **2. Estado de Arte**

## 2.1 Poluição Atmosférica

Ao longo do tempo, a composição volumétrica do ar tem vindo a sofrer alterações provocadas, quase única e exclusivamente, pelo homem (Dantas & Ramalho, 2007)

Durante o século XVIII e XIX ocorreu a Revolução Industrial, que resultou numa transição de métodos de produção artesanais para uma produção por máquinas no fabrico de metais e produtos químicos, entre outros. Com esta revolução, a poluição atmosférica aumentou, provocando alterações no ambiente e na qualidade de vida das pessoas, levando a que o denominado “fog” fosse uma constante e que as doenças do foro respiratório aumentassem exponencialmente (Deane, 1973).

De entre os poluentes mais representativos para a atmosfera, destacam-se os compostos orgânicos voláteis (COV's). Estes incluem a maioria dos solventes e combustíveis, sendo emitidos tanto por fontes fixas como por fontes móveis. Segundo Dias (2011), reproduzindo dados Europeus, as fontes naturais de COV correspondem a cerca de 16% das emissões totais para a atmosfera, sendo a indústria da produção de energia responsável por 31%, os transportes 46% e as emissões domésticas por 7%.

Os COV's, devido à sua volatilidade em bastantes processos, podem ser emitidos diretamente, como nos processos de manufatura, tanques de armazenamento, processos de tratamento como lagoas, ou indiretamente na atmosfera, geralmente na forma de compostos orgânicos após terem sofrido transformações físicas e/ou químicas. (Schirmer *et al.*, 2010).

Os solventes orgânicos utilizados nas tintas e vernizes do processo de pintura estão na origem da emissão de COV's para a atmosfera de trabalho e para o ambiente. Os solventes podem ser divididos nas seguintes classes, clorados, aromáticos, álcoois, cetonas, alifáticos, entre outros, sendo que os clorados e os aromáticos representam aproximadamente 50% destas emissões (Cunningham, 1996).

### 2.1.1 Influência dos COV's – Ambiental e Ocupacional

O ar é fundamental para a sobrevivência na Terra. Por meio de ciclos naturais, os seus constituintes são consumidos e reciclados. As ações antropogénicas provocam desequilíbrios neste sistema, conduzindo à acumulação, na atmosfera, de substâncias nocivas ao homem e ao meio ambiente. As atividades para proteger a atmosfera abrangem uma grande variedade de problemas: a redução da camada de ozono, o efeito estufa, o controlo da acidificação das chuvas e outros problemas relacionados com a poluição atmosférica (Santos *et al.*, 2002).

Um dos componentes da atmosfera mais afetados pela emissão de COV's é o ozono. Este é formado por uma molécula com três átomos de oxigénio, muito reativos e com um forte poder oxidante. Além de afetar diretamente os seres vivos, eventuais reduções na concentração do ozono estratosférico podem também provocar alterações na temperatura terrestre e no padrão de circulação dos gases na atmosfera. A combinação desses efeitos altera o equilíbrio dos ecossistemas, podendo, inclusive, gerar consequências negativas na produtividade das plantações (Santos *et al.*, 2002).

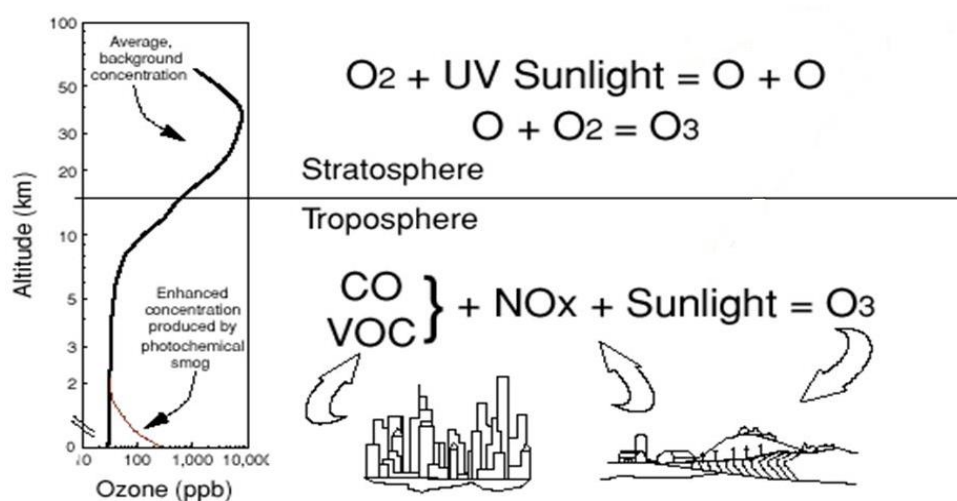


Figura 2. Reacção de formação de Ozono na atmosfera e na troposfera.(APA,nd)

Ao nível da troposfera, o ozono é um poluente secundário, ou seja, não é emitido diretamente para o ar ambiente, mas a sua formação acontece quando o oxigénio e os poluentes, seus precursores, tais como os óxidos de azoto e os compostos orgânicos voláteis, reagem sob a acção da luz solar

O ozono tem efeitos ao nível do sistema respiratório provocando inflamação das vias respiratórias, que se torna agudo para níveis elevados de concentração, causando tosse, irritação da garganta e desconforto na respiração. Existem indícios de que o ozono pode reduzir

a resistência às doenças respiratórias (como a pneumonia), lesar os tecidos dos pulmões e agravar doenças pulmonares crónicas (como a asma e a bronquite). A severidade destes efeitos aumenta com a concentração de ozono no ar, o tempo de exposição e a quantidade inalada (Dias, 2011).

## 2.2 Tintas e a sua aplicação

Para a definição de tinta, segundo a norma NP 41, tem-se que “ é uma composição pigmentada líquida, pastosa ou sólida que, quando aplicada em camada fina sobre uma superfície apropriada, no estado em que é fornecida ou após diluição, dispersão em produtos voláteis ou fusão, é convertível ao fim de certo tempo, numa película sólida, contínua, corada e opaca”.

Normalmente a tinta usada nas oficinas contém quatro “ingredientes”, base, resina, aditivos e pigmentos. A base pode ser aquosa ou solvente, sendo estas duas as mais usadas na indústria automóvel. Os pigmentos fornecem a cor e os aditivos são usados para modificar a viscosidade de forma a poderem ser utilizados por determinados equipamentos. Já a resina tem a função de ligante, ligando os pigmentos, aumentando o brilho e a durabilidade. (Prendi *et al.*, 2006)

Hazel (1997) estudou a transição de base de solvente para base aquosa, estabelecendo como pontos importantes para melhorar a eficiência, a optimização do uso de energia e materiais.

Devido às altas concentrações de COV's emitidos, começou a procura de bases que apresentassem menores concentrações, surgindo a água, que apresenta uma concentração de 15% em COV'S. Embora apresente uma menor concentração de COV'S tem a desvantagem de ser excessivamente sensível à humidade e de requerer um maior tempo de secagem e consequente maior a quantidade de energia. (Stone & Tolle, 1998)

Em termos de emissões de COV's, Dobson (1996) e Hazel (1997), não encontraram uma vantagem substancial em substituir as tintas com base de solvente para as de base aquosa. Esta emissão está diretamente dependente da composição da tinta e da quantidade de solventes nela contida. Os resultados obtidos por estes autores, indicam que a aplicação de tintas com base de solvente com métodos de controlo de emissões fornece igual emissão às tintas com base aquosa.

Um dos grandes desafios é a transferência de tinta para a superfície de destino, cerca de 40 a 60% da tinta a aplicar é perdida. (Geldermann *et al.*, 2007) A transferência depende além

do equipamento a utilizar, da humidade e fluxo de ar, da composição da tinta, do tipo de superfície e do pré-tratamento de que foi alvo antes da aplicação da tinta. (Prendi *et al.*, 2006).

## 2.3 Valores-Limite de Exposição

A avaliação da exposição profissional no trabalho, a agentes químicos inclui a determinação da concentração desses agentes no ar dos locais de trabalho e a comparação dos resultados com valores de referência que representam níveis de risco aceitáveis. Estes valores de referência denominados de “valores-limite de exposição”, VLE (Almeida *et al.*, 2016).

Apesar de existirem os valores de referência, a susceptibilidade individual para estes podem ser díspares entre trabalhadores. Os VLE's devem ser interpretados como valores teóricos, sujeitos a alteração, e antes de poderem ser aplicados a quaisquer trabalhadores, estes têm que passar por alguns exames para a detecção de algum tipo de susceptibilidade genética, ou uma condição preexistente derivada de uma doença ocupacional ou outra que possa levar a que o VLE aplicado àquele trabalhador tenha que ser revisto.

A norma portuguesa NP 1796:2007 e o Decreto-Lei nº 24/2012, que estabelecem os valores-limite de exposição química, baseiam-se nas linhas de orientação da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), e destina-se a todos os locais de trabalho onde se verifica a libertação de substâncias nocivas resultantes dos processos de trabalho.

Os VLE's<sub>exp</sub> podem e dever ser usados como uma linha de prevenção para o controlo do risco para a saúde, podendo ser divididos em 3 subgrupos, (NP 1796:2007).

- **Valor-Limite de Exposição – Média Ponderada (VLE-MP)**

É a concentração média ponderada para um dia de trabalho de oito horas e uma semana de quarenta horas, à qual se considera que os trabalhadores possam estar expostos sem efeitos nocivos para a saúde.

- **Valor-Limite de Exposição – Curta Duração (VLE-CD)**

Concentração de curta duração à qual se considera que os trabalhadores possam estar expostos, repetidamente, por curtos períodos de tempo, desde que o valor de VLE- MP não seja ultrapassado.

O VLE-CD é definido como a exposição durante quinze minutos do VLE-MP, que não deve ser ultrapassada no dia de trabalho, mesmo que a MP seja inferior ao valor-limite.

- **Valor-Limite de Exposição – Concentração Máxima (VLE-CM)**

Concentração máxima que nunca deve ser excedida durante qualquer período de trabalho considerado.

### 2.3.1 Valores-limite de Exposição para misturas

A maioria dos limites de exposição são desenvolvidos para uma única substância química. Contudo o ambiente de trabalho é muitas vezes composto por diversas substâncias originando exposições múltiplas quer simultânea quer sequencialmente. É recomendável que as exposições múltiplas que ocorrem naqueles ambientes de trabalho sejam analisados de forma a prevenir a ocorrência de efeitos negativos, considerando para isso, efeito aditivo (NP 1796, 2007).

Considera-se, para efeitos legais, que o  $VLE_{exp}$  é ultrapassado quando a soma do quociente das concentrações de cada componente exceder a unidade como demonstra a seguinte expressão. (Kappelusch, 2014)

$$\sum \frac{C_i}{VLE_i} \leq 1 \quad Eq. (1)$$

$$\frac{C_1}{VLE_1} + \frac{C_2}{VLE_2} + \frac{C_3}{VLE_3} \leq 1 \quad Eq. (2)$$

A aplicação desta fórmula de cálculo aplica-se a situações de exposição múltipla, para VLE's de três tipos. O tempo do VLE deve ser consistente, quando possível, e quando agentes com o mesmo efeito toxicológico não tiverem o mesmo tipo de VLE pode-se usar VLE mistos, ou proceder à ponderação dos VLE's pelos tempos de aplicação como será desenvolvido na metodologia.

Quando um agente com um VLE-CD ou CM está misturado com um agente com VLE-MP mas sem CD, faz-se uma comparação do VLE-CD com o limite de excursão aplicável, este último



é definido como cinco vezes o valor de VLE-MP, como se pode verificar pela seguinte expressão (NP 1796, 2007).

$$\frac{C1}{(VLE-CD)} + \frac{C2}{5 \times (VLE-MP)} + \frac{C3}{(VLE-CD)} \leq 1 \quad \text{Eq. (3)}$$

### 2.3.2 Nível de Acção

Algumas organizações da comunidade científica, nomeadamente a OHSAS, consideram além dos  $VLE_{exp}$ , o valor de acção. Este considera-se que é metade do  $VLE_{exp}$  e estabelece o valor para o qual se deve aplicar medidas de controlo, prevenção e monitorização

Adicionalmente ao valor de acção definiram a periodicidade de colheitas para análise, com base no quociente do valor de concentração com o VLE. (OHSAS, 2007)

**Se  $C > VLE$** , a colheita deve ser repetida todos os meses até que se obtenha  $C < VLE$ .

**Se  $\frac{VLE}{2} < C \leq VLE$** , a colheita deve ser repetida de dois em dois meses, assegurando a formação dos trabalhadores expostos e o controlo médico periódico dos mesmos.

**Se  $C < \frac{VLE}{2}$** , a colheita deve ser realizada duas vezes consecutivas, intervalados por uma semana.

## 2.4 Sistemas de Ventilação

Os sistemas ventilação podem ser de dois tipos (Osborne & Turner, 1970).

- **Natural:** Através da diferença de temperaturas e da velocidade do vento;
- **Mecânica ou Forçada:** é um sistema de ventilação assistida, com recurso a dispositivos mecânicos;

A ventilação natural é realizada através de aberturas no sistema, como janelas, portas, fendas ou frinchas, e a colocação de grelhas e condutas.

Enquanto a ventilação forçada ou mecânica é usada para regular as condições verificadas no ar interior dentro de um sistema, como a renovação do ar interior, temperatura,

humidade, diluição de contaminantes, entre outros, para condições aceitáveis para o fim desejado.

A ventilação mecânica ou forçada normalmente é aplicada para a admissão de ar, extração de ar, ou ambos. Apesar de esta ventilação permitir uma ventilação bastante mais eficiente e controlada, para a admissão e extração de ar e do conforto em geral, o consumo de energia é muito elevado em relação à ventilação natural. Normalmente, a ventilação mecânica, verifica-se em casos específicos, como lugares com temperaturas envolventes inadequadas, como nos países frios, ou em atividades industriais que necessitam de uma renovação de ar muito eficiente devido aos contaminantes presentes (Osborne & Turner, 1970).

A ventilação, como qualquer outro equipamento estrutural tem fatores limitantes, onde se pode destacar (Miguel, 2014).

- A quantidade de contaminante formado não deve ser grande, pois a quantidade de ar fornecido teria que ser grande, inviabilizando o processo.
- Os trabalhadores, mesmo com a ventilação, devem estar afastados do foco de contaminação, se não for possível, a concentração do contaminante deverá estar abaixo do respetivo VLE.
- A toxicidade do contaminante deve ser baixa.

Em locais fechados, como estufas, o processo e a fonte de contaminante estão a decorrer dentro desta, embora seja fechado, não se verifica um isolamento completo, visto que é necessário providenciar ar de insuflação e retirar o ar e os contaminantes por exaustão.

Para um bom dimensionamento de uma estufa de pintura, deverá seguir-se os seguintes pontos relativamente ao recinto da estufa e ao sistema de renovação de ar (HSE, 2011).

Relativamente ao recinto deve-se:

- Prever o tamanho máximo da fonte e tornar o gabinete grande o suficiente para a nuvem de contaminantes.
- Dimensionar o gabinete de forma a manter a pressão constante e conter qualquer libertação repentina de contaminante.
- Minimizar o impacto do produto nas paredes, assegurando que a nuvem seja dirigida para longe da porta de entrada.
- Planear o isolamento da porta de entrada, do tamanho e da eficiência do filtro, fornecendo um alarme em caso de sobrepressão.

No que respeita a ventilação deve-se:

- Dimensionar uma taxa de fluxo de extração, que exceda o caudal volumétrico da fonte de contaminantes e que permita a manutenção de uma atmosfera de trabalho o mais limpa possível.
- O diferencial de pressão deve ser grande o suficiente para extrair o ar através de filtros de saída, dimensionados para o efeito, minimizando assim a saída de ar contaminado.

#### 2.4.1 Ventilação geral diluidora

Este tipo de ventilação consiste na passagem de uma corrente de ar externo, não contaminado, através do recinto a ser purificado, eliminando ou diminuindo a concentração de substâncias indesejáveis.

É aconselhável a instalação deste tipo de ventilação quando existe um número elevado de fontes de contaminantes, em baixas concentrações. O termo diluidor surge do facto de que a adição de mais ar no recinto irá diminuir a concentração do contaminante. (Valle & Melo, 1992).

Além de se usar a ventilação diluidora para a remoção de contaminantes, também pode ser usada para retirar calor do ambiente.

A renovação do ar num recinto não significa, a imediata remoção de contaminantes, mas sim uma dispersão do contaminante pelo meio, de tal forma que a taxa de contaminante seja a mesma em todos os pontos. (Valle & Melo, 1992)

Na figura seguinte apresenta-se o processo produtivo da pintura automóvel com um sistema de ventilação diluidora.

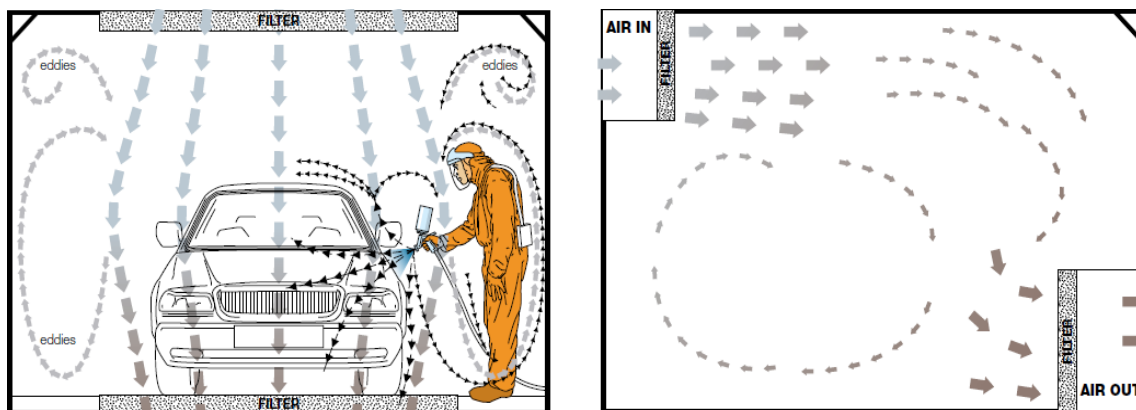


Figura 3. Ventilação diluidora durante o processo produtivo da pintura automóvel (HSE, 2011)

#### 2.4.2 Ventilação localizada

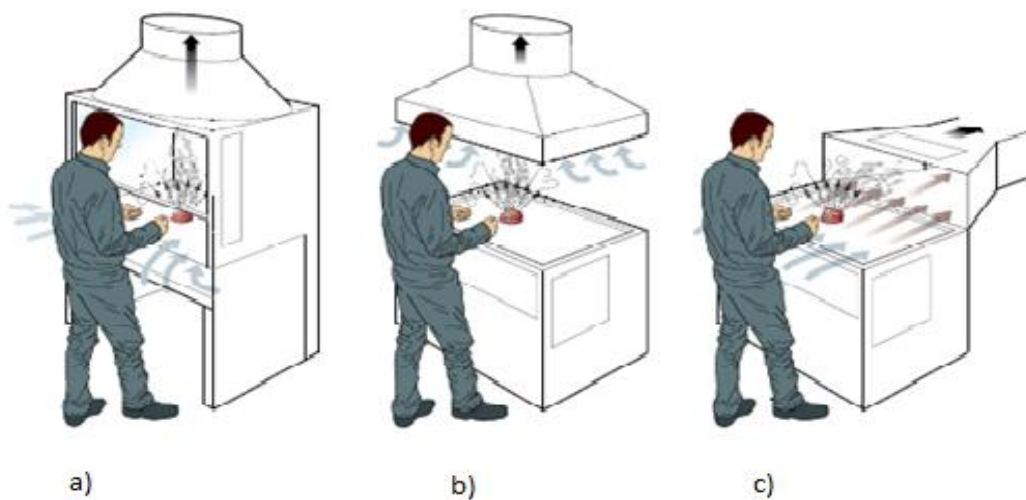
Emergente, da preocupação do potencial de risco à saúde humana, decorrente de ambientes com atmosferas de trabalho bastante contaminadas é a adopção de medidas que

visem a proteção e prevenção. Segundo a Fundacentro (2011), as medidas de controlo podem ser classificadas de carácter coletivo e de engenharia, se projetadas no ambiente e nas fontes de geração no processo produtivo, como os sistemas de ventilação local exaustora.

Os sistemas de ventilação podem ser classificados como, ventilação geral, natural ou mecânica, que ventila o ambiente como um todo, a ventilação geral diluidora, retira as substâncias emitidas diretamente do local de geração, conduzindo-as para a atmosfera externa (Lisboa,2007).

A ventilação exaustora localizada é um dos recursos mais eficazes para o controlo da atmosfera do trabalho, principalmente quando aplicada em conjunto com outras medidas com vista a redução, ou mesmo a eliminação, da exposição dos trabalhadores aos contaminantes químicos presentes ou libertados na forma de névoa, gases, vapores e poeiras (Sobrinho,1996)

Assim, com a finalidade de manter o ambiente de trabalho dentro de parâmetros seguros em termos de contaminação do ar e, por conseguinte, preservar a saúde dos trabalhadores, é indispensável que o sistema de exaustão seja projetado, construído, instalado, operado e mantido segundo os melhores conceitos da Engenharia, de modo a prevenir a libertação de agentes tóxicos no ambiente de trabalho, atendendo às necessidades específicas



de cada processo ou operação a ser controlada (Sobrinho, 1996; Queiroz, 2010).

Na seguinte figura, apresenta-se três tipos de estruturas para a ventilação localizada, ideais para a tarefa de preparação das tintas

**Figura 4. Ventilação localizada: a) Ventilação fechada por captura de contaminante; b) Ventilação não fechada por captura de contaminante; c) Ventilação não fechada por geração e captura de contaminante. (HSE,2011)**

## 2.5 Equipamentos de Protecção Individual (EPI's)

Segundo o Decreto-Lei nº 348/93 de 1 de Outubro, " entende-se por equipamento de protecção individual todo o equipamento, bem como qualquer complemento ou acessório, destinado a ser utilizado pelo trabalhador para se proteger dos riscos, para a sua segurança e para a sua saúde".

Miguel (2014), define proteger como " tão pouco quanto possível, mas tanto quanto necessário".

O uso apropriado de equipamentos de protecção individual pode reduzir lesões e doenças ocupacionais (Breish, 1989; LaBar, 1990)

Um estudo realizado por LaBar (1990) para o registo de lesões e doenças ocupacionais, revelou que uma adequada aplicação dos EPI's poderia ter impedido até 37,6 % destas. De facto, de acordo com Breisch (1999), cerca de 12-14% do total das lesões profissionais incapacitantes, ocorrem porque os trabalhadores não usam os EPI's adequados.

Aplicar o uso de EPI's é, normalmente, a melhor solução, quando os outros métodos, nomeadamente, organizacionais e estruturais, não são capazes de providenciar uma protecção plena aos trabalhadores. No entanto, quando se fornece os EPI's, os trabalhadores podem rejeitar ao seu uso por motivos de desconforto. Consequentemente, os equipamentos não são usados ou são usados incorretamente pelo trabalhador, afetando de forma acentuada a sua eficácia (Akbar-Khanzadeh & Bisesi, 1995).

O conforto é um termo relativo, que é usualmente determinado por uma combinação de fatores, fisiológicos, psicológicos e físicos (Pontrelli, 1977). Ajuste impróprio, excesso de peso e equipamentos com cores não agradáveis são alguns dos parâmetros que tornam os EPI's indesejáveis. Alguns destes resistem à passagem de vapor de água e inviabilizam a passagem de ar junto à superfície cutânea, criando uma espécie de microclima húmido que irá reduzir os efeitos de resfriamento da evaporação do suor. Ademais, o incremento do peso e limitação dos movimentos do trabalhador provocado pelos EPI's, aumentam o custo metabólico da realização da tarefa (Duggan, 1988), além de restringir o campo de visão, limitar a comunicação e reduzir a destreza manual (Nunnele, 1989). O não uso ou uso indevido dos EPI's além de afetar a performance dos trabalhadores, cria perigos maiores do que aqueles a questão projetados para combater (Abeyesera & Shahvanaz, 1988).

### 2.5.1 Protecção das Vias Respiratórias

Estudos epidemiológicos recentes, demonstram que a exposição crónica ao tráfego automóvel e petroquímicas e químicas industriais como as partículas suspensas, hidrocarbonetos aromáticos, COV's, SO<sub>2</sub>, ozono e No<sub>x</sub> são associados a efeitos prejudiciais à saúde, como uma função pulmonar reduzida, aumento da morbidez respiratória, aumento da mortalidade, particularmente em crianças (UNEP-ILO-WHO, 2009). Além destes estudos, realizaram-se estudos ambientais que confirmaram que os COV's são uma das maiores fontes da formação do ozono troposférico, que pode causar irritação das vias aéreas (Tanaka *et al.*, 2000; Leikauf, 2002; Weisel, 2002).

O estudo do ar interior é necessário, devido a um grande número de fontes internas de emissão, e ao facto de que as pessoas passam cerca de 70% do seu tempo em espaços interiores (Guo *et al.*, 2004; Ohura *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2007). A situação torna-se ainda mais negativa devido à quantidade elevada de espaços interiores, que frequentamos diariamente (local de trabalho casa, escolas, restaurantes, reprografias, shopping, supermercado, entre outros). Cada um destes espaços é afetado por um ou mais fontes de contaminantes de COV's, incluindo solventes e derivados de petróleo em zonas de construção, fogões e outros equipamentos de cozinha (Wallace *et al.*, 1987; Daisey *et al.*, 1994; MinKim *et al.*, 2001).

Foi estimado, que as operações de pintura geraram cerca de 1883 e 2235 quilotoneladas em 2005 e 2010, respetivamente. (Wei *et al.*, 2009).

Novoselac & Srebric (2010), concluíram que a transferência de calor convectivo do corpo de um ocupante, induz um fluxo por gravidade, devido às diferenças de densidade entre o ar e os contaminantes, transportando estes últimos até à zona respiratória.

A relação entre a exposição dos COV's emitidos pelas tintas e os problemas de saúde por estes causados foi confirmado. De acordo com alguns estudos epidemiológicos, o benzeno foi classificado como um agente carcinogénico, enquanto outros COV's podem ser irritantes para a pele, sistema nervoso central (SNC), asma e outros efeitos respiratórios (Rumchev, 2007).

As máscaras para protecção das vias respiratórias podem ser de dois tipos (Almeida *et al.*, 2016).

- Filtrantes – Dependem da atmosfera ambiente, tendo como função a purificação do ar recebido pelo trabalhador, (auto filtrantes, semimáscaras, máscara completa).
- Isolantes – Independentes da atmosfera ambiente, fornecem ar não proveniente da atmosfera envolvente, (equipamento motorizado).

Para que um aparelho filtrante possa garantir um adequado grau de protecção, deve ser ligado a um ou dois filtros de protecção apropriados ao tipo de concentração dos contaminantes presentes na atmosfera de trabalho.

Para a escolha dos EPI's necessários deverá ter-se em conta, o ambiente envolvente como a temperatura e a humidade, o tipo e a concentração das substâncias, possível interacção entre contaminantes e o caudal de ar respirado, que varia de utilizador para utilizador (Almeida *et al.*, 2016) e pelas Portaria nº 109/96, de 10 de Abril e pela nº 695/97, de 19 de agosto.

## **2.6 Enquadramento Legal e Normativo**

### **2.6.1 Legislação ambiental**

A legislação ambiental relativamente às emissões gasosas é regulada pelo Decreto-Lei nº 78/2004, de 3 de Abril, que estabelece o regime legal relativo à prevenção e controlo das emissões atmosféricas fixando os princípios, objetivos e instrumentos apropriados à garantia da protecção do recurso natural ar.

Este diploma, abrange todas as fontes de emissão de poluentes atmosféricos associados a instalações de carácter industrial, produção de eletricidade e ou vapor, instalações de combustão integradas em estabelecimentos industriais comerciais e/ou serviços, de ensino e de manutenção e reparação de veículos, entre outros (APA, 2017).

De fora do seu âmbito ficam as instalações com uma potência térmica igual ou inferior a 100 kWth, geradores de emergência, sistemas de ventilação e instalação ou parte delas utilizadas exclusivamente para investigação e desenvolvimento (APA, 2017).

O Decreto-Lei nº 78/2004 de 3 de Abril é regulamentado através de alguns diplomas legais, no entanto, apenas se refere aqueles que são importantes para o desenvolvimento do projeto. (APA, 2017)

- Portaria n.º 80/2006, de 23 de Janeiro, que fixa os limiares mássicos máximos e mínimos de poluentes atmosféricos. Alterada pela Portaria nº 676/2009 que veio substituir a tabela nº3 da Portaria n.º 80/2006.
- Portaria nº 675/2009, de 23 de Junho, que fixa os valores limite de emissão de aplicação geral (VLE gerais) aplicáveis às instalações abrangidas pelo Decreto-Lei nº 78/2004, de 3 de Abril, retificada pela declaração nº 62/2009, de 21 de Agosto.
- Portaria nº 677/2009, de 23 de Junho, que fixa os valores limite de emissão (VLE) aplicáveis às instalações de combustão.

## 2.6.2 Legislação Ocupacional

No decorrer do ano de 2006, o Parlamento Europeu criou o Regulamento (CE) nº 1907/2006 de 18 de Dezembro, relativo à “*Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals*”, REACH, criando a Agência Europeia dos Produtos Químicos.

O REACH exige que ao longo de toda a cadeia de produção e ao abrigo de um único registo, avaliação, autorização e restrição dos produtos químicos, existam informações sobre os riscos gerados pelas substâncias e as formas de o combater, facilitando assim a análise da conformidade a nível ocupacional.

Para a verificação da conformidade legal ocupacional, existem dois tipos de documentos legislativos válidos e aceites pela comunidade, o Decreto-Lei nº 24/2012 de 6 de Fevereiro e a NP EN 1796:2007. Ambos apresentam valores limites de exposição (VLE), válidos para agentes químicos considerados perigosos, que têm como base a informação disponível da experiência industrial, estudos experimentais em animais e no ser humano. Os VLE’s apresentados são os MP (Média Ponderada), a oito horas, os CD (Curta Duração), quinze minutos e por vezes os CM (Concentração Máxima).

Estes dois documentos diferem em duas situações, enquanto a NP EN 1796:2007 apresenta um maior número de substâncias normalizadas, o Decreto-Lei nº 24/2012 de 6 de Fevereiro, exhibe VLE’s mais conservadores, ou seja, mais baixos. Ambos são aceites pela comunidade científica, sendo até, aconselhável o uso dos dois em simultâneo, aumentando assim a probabilidade de uma análise mais profícua e correta.



## 2.7 Objetivos

O principal objetivo centra-se no desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo, para avaliação da conformidade legal e normativa das emissões de poluentes gasosos, recorrendo a um caso prático, que auxilie na tomada de decisão para eventuais mudanças a aplicar no processo produtivo.

Na seguinte dissertação podemos destacar os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a percentagem de COV's presentes em cada produto em uso.
- Estimar o tempo de permanência da nuvem de contaminantes na atmosfera de trabalho.
- Caracterizar a atmosfera de trabalho relativamente à concentração de cada contaminante, por etapa.
- Verificar a eficiência do caudal de ventilação para a extracção dos contaminantes do interior da estufa.
- Avaliar a necessidade EPI's para protecção respiratória, no caso, máscara.

### **3. Metodologia**

#### **3.1 Caso Prático: Oficina de Ligeiros**

Durante o estágio curricular na empresa, acompanharam-se as etapas do processo produtivo da pintura automóvel.

##### **3.1.1 Etapas do processo produtivo**

###### **3.1.1.1 Preparação para a pintura**

Na fase inicial do processo produtivo, a peça ou peças a pintar, necessitam de ser limpas e preparadas.

Quando se efetua a pintura, existem duas opções, ou se usa a tinta anterior como fundo, ou se a remove completamente. Na empresa, a segunda opção é a habitualmente considerada na maioria dos casos.

Se se pretender remover a tinta, o processo é bastante mais moroso, pois necessita-se de proceder ao lixamento total da peça e posterior desengraxamento. Enquanto se se usar a tinta existente como fundo, o desengraxamento é apenas aplicado, para se atingir uma superfície completamente lisa e uniforme.

Finalizada esta operação, verifica-se a existência de imperfeições que possam prejudicar a aplicação dos produtos, caso existam, é colocada massa poliéster para correção.

###### **3.1.1.2 Pintura**

Colocado o automóvel ou a peça na estufa de pintura, regulada a temperatura de interior para 25 °C e verificado o correcto funcionamento do sistema de ventilação, de caudal  $10691 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , inicia-se o processo.

O primeiro produto a aplicar denomina-se primário, este é considerado um produto de características suaves, pouco agressivo para a peça, que tem como finalidade a proteção da peça, antes de se aplicar a tinta e o verniz, produtos bastante mais agressivos.

Na existência, de peças de metal ou plástico, o primário a aplicar será diferente devido à maior fragilidade da peça de plástico comparativamente com a de metal, necessitando de um primário próprio mais suave.

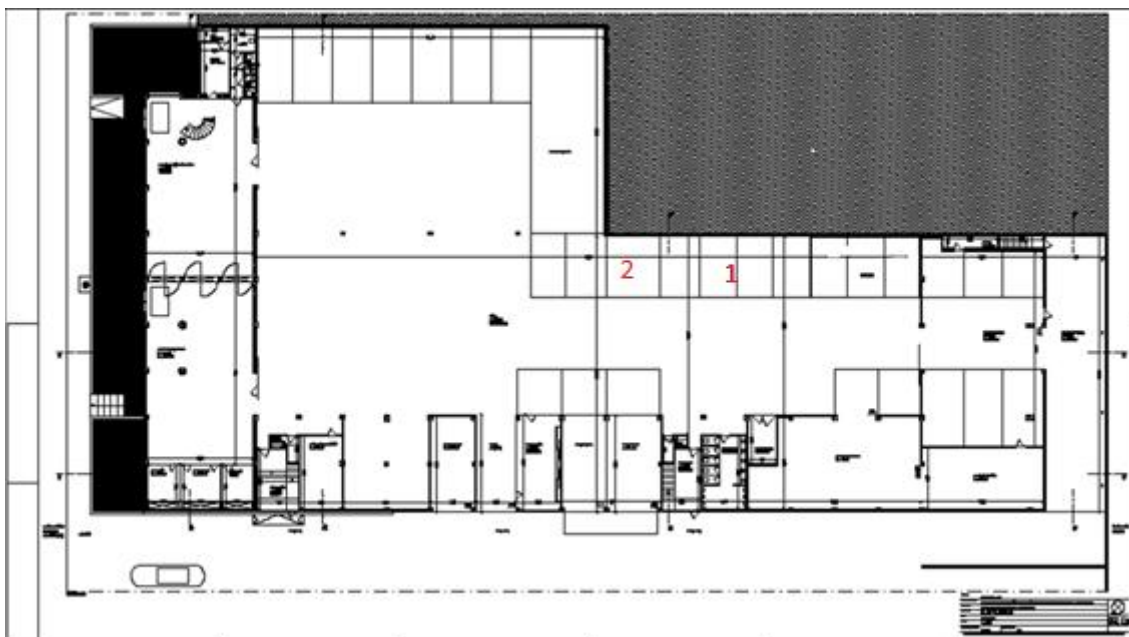
O aparelho de pintura, durante a aplicação, actua com uma pressão de dois bar e uma abertura de duas voltas, correspondente a dois milímetros de diâmetro, que, segundo o fabricante são as condições ideais para aplicação dos produtos, de modo a garantir um bom resultado final.

Finda a aplicação do primário, a peça é submetida a um período de descanso, nunca inferior a 5 minutos, período que se aproveita para a preparação da tinta que tem como finalidade, a obtenção da cor desejada.

O último produto a aplicar é o verniz, repete-se o período de descanso verificado, entre o primário e a tinta. O verniz tem como principal objectivo, a proteção da tinta, nomeadamente da corrosão, mas também actua a nível estético, fornecendo um brilho intenso.

Finalizado o processo de aplicação dos produtos, a peça ou o veículo é colocado no forno, a 200°C durante cerca de uma hora, onde o material não volátil, como os pigmentos, começam a abrir, possibilitando a evaporação dos COV's e o desenvolvimento do material não volátil da tinta.

Na figura seguinte, apresenta-se a planta da oficina Volvo, onde se encontram identificados, com o número 1 e 2, a estufa de pintura e o forno, respectivamente.



**Figura 5.** Planta da oficina-Volvo: 1) Estufa de Pintura; 2) Forno (GRUPO NORS,2017).

### 3.1.2 Conhecimento dos Produtos Químicos

O inventário não é só uma necessidade das empresas para o controlo do stock, mas também uma forma de controlo dos componentes químicos existentes.

Para criar um inventário não basta apenas verificar que produtos são utilizados, mas também analisar o produto duma forma que se consiga verificar os seguintes pontos. (Ribeiro *et al.*, 2011)

- ✓ Matéria-prima;
- ✓ Preparações a realizar;
- ✓ Vapores emitidos durante o manuseio e preparação do produto;
- ✓ Poluentes gerados, como fumos, poeiras, névoas;
- ✓ Eventuais materiais utilizados como, catalisadores, corantes, tintas, etc;
- ✓ Substâncias utilizadas tanto na limpeza dos equipamentos, como do local de trabalho.

Para a implementação de medidas de controlo e prevenção dos agentes químicos no ambiente de trabalho é necessário o prévio conhecimento dos produtos usados na actividade laboral. Estes produtos devem ser analisados em todas as etapas do processo, armazenagem, manuseamento, processamento e descarte, que corresponde ao processo análise de um Fluxo de Químicos.

Para uma melhor organização da análise é recomendável o preenchimento da seguinte tabela.

**Tabela 1. Ficha descritiva: utilização de produtos químicos (Adaptado de Fundacentro, 2015)**

Área
Departamento
Acesso ao local
Área restrita, controlo de acesso, etc.
Condições do ambiente
Ventilação geral, ventilação exaustora, temperatura, humidade, etc.
Condições de higiene, limpeza e manutenção do local
Limpeza do local, frequência e método de limpeza, descarte, etc.
Condições de armazenagem e transporte dos produtos químicos
Humidade, temperatura, equipamentos de transporte, pesagem, etc.
Condições de manuseio dos produtos químicos
Rotulagem, pesagem, transferência, descarte, etc.
Utilização de EPI
Existe necessidade, utiliza-se correctamente, etc.

### 3.2 Cálculos Auxiliares

Finda a análise de inventário dos produtos químicos, e identificados todos os componentes a analisar, com as respectivas percentagens em volume, procede-se à recolha de elementos característicos dos componentes, que nos permitam efectuar os cálculos necessários. Entre estes, podemos destacar, a densidade e a massa molecular de cada componente.

Seguidamente efectua-se os cálculos das variáveis características estruturais do aparelho de pintura, como o caudal e a velocidade de aplicação.

Como o *software* de preparação fornece a quantidade a aplicar de cada produto, e se o tempo de aplicação for cuidadosamente cronometrado, pode-se calcular o caudal através da seguinte equação,

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Eq. (4)}$$

$Q$  = Caudal de aplicação ( $L \cdot s^{-1}$ )

$V$  = Volume do produto a aplicar ( $L$ )

$t$  = tempo de aplicação ( $s$ )

Como abordado, no início do processo produtivo, o aparelho de pintura sofre uma abertura de duas voltas. Segundo o fabricante, duas voltas correspondem a dois milímetros de diâmetro, pode-se assim calcular a área da secção e a velocidade de aplicação, como demonstram as equações (5) e (6), respectivamente.

$$A = \pi \times r^2 \quad \text{Eq. (5)}$$

$A$  = Área da secção de saída ( $m^2$ )

$r$  = Raio da secção ( $m$ )

$$v = \frac{Q_{\text{aplicação}}}{A} \quad \text{Eq. (6)}$$

$v$  = Velocidade de aplicação ( $m \cdot s^{-1}$ )

$Q_{\text{aplicação}}$  = Caudal de aplicação ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$A$  = Área da secção de saída ( $m^2$ )

### 3.3 Taxa de Geração e Concentração Instantânea de Contaminante

Pelas FDS (Fichas de Dados de Segurança) recolhe-se as percentagens em volume de cada componente no produto, que são indispensáveis para o cálculo da taxa de geração e da concentração instantânea de contaminante. No caso do fornecedor da empresa, este não apresenta uma percentagem de volume fixo para os COV's, apresentando um intervalo provável, para efeitos de cálculo considerou-se o volume máximo admissível, o pior caso

Auxiliados pelas equações (7) e (8), calcula-se o volume de cada componente na mistura final do primário, da tinta e do verniz.

$$V_i = \% \frac{v_i}{v_p} \times V_p \quad \text{Eq. (7)}$$

$V_i$  = Volume de cada componente no produto ( $L$ )

$\% \frac{v_i}{v_p}$  = Percentagem em volume de cada componente no produto

$V_p$  = Volume de cada produto na mistura ( $L$ )

$$V_i = \% \frac{v_i}{v_t} \times V_t \quad \text{Eq. (8)}$$

$V_i$  = Volume de cada componente na mistura (L)

$\% \frac{v_i}{v_t}$  = Percentagem em volume de cada componente na mistura

$V_t$  = Volume total da mistura (L)

Obtido o volume de cada componente na mistura total do produto, pode-se então calcular a taxa de geração e a concentração instantânea de contaminante.

A taxa de geração de contaminante, G, caracteriza-se por ser a quantidade de produto gerado por unidade de tempo. Considera-se, que esta varia ao longo da gama de variação da fixação considerada, 0-100%, podendo oscilar de produto para produto e, fundamentalmente, da distância do aparelho à superfície de destino.

O  $G_{(0)}$  considera-se que é a taxa de geração máxima de contaminante para a atmosfera de trabalho, e é a base para o desenvolvimento da análise.

Para o cálculo da taxa de geração de contaminante para uma fixação de 0%, ( $G_0$ ) usa-se a seguinte equação, (MacIntyre, 1990)

$$G_{(0)} = \% \frac{v_i}{v_t} \times \rho \times Q_{\text{aplicação}} \times 10^6 \quad \text{Eq. (9)}$$

$G_{(0)}$  = Taxa de geração de contaminante para uma fixação 0 ( $mg.s^{-1}$ )

$Q_{\text{aplicação}}$  = Caudal de aplicação ( $dm^3.s^{-1}$ )

$\rho$  = Massa volúmica ( $kg.L^{-1}$ )

Obtido o  $G_{(0)}$ , procede-se agora ao cálculo de concentração instantânea para uma fixação de 0%,  $C_{(0)}$ .

Considera-se que a estufa é um espaço fechado e ventilado, no qual o contaminante está a ser constantemente gerado, sujeito a um caudal de ventilação contínuo e constante, sendo permanentemente misturado com o ar.

Segundo Miguel (2014), esta situação pode ser traduzida pela equação(10)

$$\text{Taxa de acumulação} = \text{Taxa de geração} - \text{Taxa de evacuação} \quad \text{Eq. (10)}$$

A qual se traduz na seguinte equação diferencial.

$$V dc = G dt - Qc dt \quad \text{Eq. (11)}$$

Integrando a equação 11, obtemos:

$$\int_0^c \frac{dc}{G-Qc} = \frac{1}{V} \times \int_0^t dt \leftrightarrow C = \frac{G}{Q} \times \left(1 - e^{-\frac{Qt}{V}}\right) \quad \text{Eq. (12)}$$

$c$  = Concentração instantânea de contaminante ( $mg.m^{-3}$ )

$G$  = Taxa de geração de contaminante ( $mg.h^{-1}$ )

$Q$  = Caudal volúmico de ventilação ( $m^{-3}.h^{-1}$ )

### 3.3.1 Regime Estacionário

Um regime ou estado estacionário, caracteriza-se por todas as propriedades do sistema, como a temperatura ou pressão, não variarem com o tempo. Assim se monitorizarmos qualquer variável do sistema em estado estacionário, o seu valor será imutável com o tempo. O que implica que qualquer derivada parcial, de qualquer propriedade do sistema, em relação ao tempo é zero.

No caso a estufa, verifica-se que a pressão e a temperatura, não variam mantendo-se constantes ao longo do decorrer do processo. O mesmo acontece com a concentração e a massa de contaminante, presentes na atmosfera da estufa de trabalho, que se consideram constantes, devido ao caudal de ventilação e caudal de aplicação se não sofrerem alterações ao longo do processo. No entanto, o caudal de aplicação durante momentos é interrompido, ou por um mudança da peça do automóvel a pintar, ou por um ajuste de posição, mas que para um processo de largos segundos considera-se que desprezável.

Considera-se estado estacionário, logo  $dc = 0$  e a equação (12) toma a forma da equação (13).

$$C = \frac{G}{Q} \quad \text{Eq. (13)}$$

$Q$  = Caudal volúmico de ventilação ( $m^3.s^{-1}$ )

$G$  = Taxa de geração de contaminante ( $mg.s^{-1}$ )

$C$  = Concentração instantânea de contaminante na atmosfera da estufa ( $mg.m^{-3}$ )



### 3.3.2 Regime não estacionário

Finalizado o tempo de aplicação, o produto permanece em repouso na superfície de destino, nunca menos de cinco minutos, nesse intervalo o regime passa de estacionário para não estacionário. O contaminante deixa de ser gerado, ficando apenas para evacuar aquele que está disperso na atmosfera de trabalho.

Como o regime passa de estacionário, para não estacionário, não se pode aplicar a equação 13, sendo necessário outra equação.

Bowes *et al.*, (1993), desenvolveu uma equação, para a determinação da evolução da concentração de um traçador disperso numa sala ventilada, quando a taxa de geração é igual a zero. Embora não se tenha um gás traçador, esta equação pode ser aplicada a qualquer tipo de nuvem de contaminantes na estufa, desde que a taxa de geração seja igual a 0.

$$\ln(C) = \ln(C_0) - \frac{Q}{V}t \quad \text{Eq. (14)}$$

$C$  = Concentração de contaminante ao longo do tempo ( $mg.m^{-3}$ )

$C_0$  = Concentração de contaminante no instante do fim da taxa de geração ( $mg.m^{-3}$ )

$Q$  = Caudal volúmico de ventilação ( $m^3.s^{-1}$ )

$V$  = Volume da estufa ( $m^3$ )

$t$  = Tempo de repouso ( $s$ )

### 3.4 Massa de contaminante

Considera-se estado estacionário, e que a mistura do produto é completa e homogénea. No entanto, poderá, por vezes, acontecer uma má mistura do produto pelos pintores, mas esta para efeitos de cálculo considera-se completa e homogénea.

O cálculo da massa de contaminante total e por composto pode ser obtido através da seguinte equação.

$$m = G_{(fixação)} \times t \quad \text{Eq. (15)}$$

$G$  = Taxa de geração de contaminante por fixação ( $mg.s^{-1}$ )

$m$  = Massa de contaminante ( $mg$ )

$t$  = Tempo de aplicação ( $s$ )

### 3.5 Balanço de massa

Obtida a massa de contaminante inicial, existem condições para realizar o balanço de massa aos contaminantes, por fixação. O intervalo de fixação, como já referido, varia de 0 a 100%.

No seguinte diagrama de processos, pode-se observar o balanço de massa no interior da estufa.

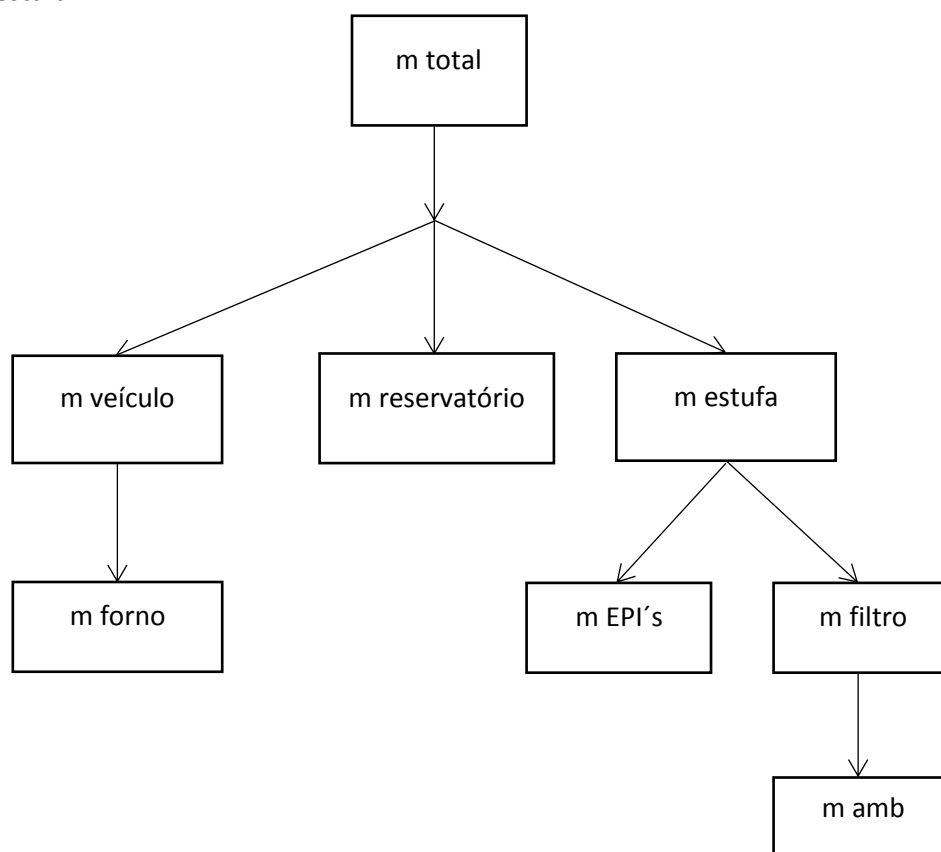


Figura 6. Diagrama de processo no interior da estufa

Na tabela 2, apresentam-se as variáveis usadas, para uma mais fácil compreensão das equações do balanço de massa, no anexo 4, e do diagrama de processos.

Tabela 2. Variáveis do balanço de massa

Variáveis do Balanço de Massa	Significado das Variáveis do Balanço de Massa
$m_{total}$	Massa total de COV na mistura
$m_{estufa}$	Massa de COV dispersa no ambiente da estufa
$m_{veículo}$	Massa de COV fixa no veículo
$m_{amb}$	Massa de COV emitida para o ambiente
$m_{filtro}$	Massa de COV no filtro da estufa

m EPI's	Massa de COV's nos EPI's
m reservatório	Massa de COV's que fica no reservatório do aparelho de pintura
m forno	Massa de COV's a evaporar no forno
V estufa	Volume total da estufa

No anexo 4, está representado em esquema, o balanço de massa, para um mais fácil entendimento dos diferentes fluxos de massa do processo global na estufa de pintura.

De seguida, apresentam-se as equações usadas para o balanço de massa no interior da estufa.

Inicialmente calcula-se a massa de COV's fixa no veículo, por gama de fixação:

$$m_{veículo} = (m_{total} - m_{reservatório}) \times \text{fixação} \quad \text{Eq. (16)}$$

Com a massa fixa no veículo e presente no reservatório, cuidadosamente pesada, pode-se calcular a massa de COV's dispersa na atmosfera de trabalho no interior da estufa. Não se contabiliza a massa presente nos EPI's pois esta é ínfima, tornando-se desprezável.

$$m_{estufa} = (m_{total} - m_{reservatório} - m_{veículo}) \quad \text{Eq. (17)}$$

Segundo o fabricante, a percentagem de retenção do filtro à saída da estufa para COV's é de 86,5%. Pode-se então calcular a massa de contaminante retida no filtro.

$$m_{filtro} = m_{estufa} \times \text{filtração} \quad \text{Eq. (18)}$$

Obtida a massa de contaminante retida no filtro, podem-se calcular as emissões de COV's para o ambiente.

$$m_{amb} = m_{estufa} - m_{filtro} \quad \text{Eq. (19)}$$

### 3.6 Taxa de Geração e Concentração Instantânea de Contaminante por fixação

No ponto 3.2, já se abordou como se calcula a taxa de geração e a concentração instantânea do contaminante, apresentando o cálculo de ambas para uma percentagem de fixação de 0%.

Na equação seguinte apresenta-se o cálculo da taxa de geração para diferentes fixações, a partir de  $G_{(0)}$ .

$$G_{(atmosfera da estufa)} = G_{(0)} - G_{(0)} \times (fixação) \quad Eq. (20)$$

$G_{(atmosfera da estufa)}$  = Taxa de Geração de Contaminante para atmosfera de trabalho ( $mg.s^{-1}$ )

$G_{(0)}$  = Taxa de geração de contaminante para uma fixação de 0 ( $mg.s^{-1}$ )

Calculada a taxa de geração de contaminante é possível então, calcular a concentração instantânea do contaminante no ambiente da estufa por fixação.

$$C_{(fixação)} = \frac{G_{(fixação)}}{Q} \times \left( \frac{V_{molar}}{M_{Molecular}} \right) \quad Eq. (21)$$

$C$  = Concentração instantânea de contaminante na atmosfera de trabalho por fixação (ppm)

$G$  = Taxa de geração de contaminante por fixação ( $mg.s^{-1}$ )

$Q$  = Caudal volúmico da ventilação ( $m^3.s^{-1}$ )

$V_{molar}$  = Volume molar ( $L.mol^{-1}$ )

$M_{Molecular}$  = Massa molecular do contaminante ou da mistura ( $g.mol^{-1}$ )

### 3.7 Verificação da conformidade legal

#### 3.7.1 Conformidade Ocupacional

Obtido o valor da concentração instantânea de contaminante para as diferentes fixações, equação (21), procede-se então à verificação da conformidade legal.

Para a verificação da conformidade ocupacional existem três opções, ou se aplica o Decreto-Lei nº 24/2012 ou a NP EN 1796:2007 ou ambas, aconselha-se o uso das duas, visto que a segunda apresenta um maior número de componentes legislados, mas VLE's mais altos e a primeira apresenta menos componentes legislados mas VLE's mais conservadores.

Antes de começar a verificação necessita-se de apurar, os VLE-MP (Média-Ponderada) e os VLE-CD (Curta-Duração), além dos efeitos que estas substâncias provocam no corpo humano. Apresenta-se, abaixo, uma tabela auxiliar para uma análise ao nível ocupacional.

**Tabela 3. Tabela-tipo para uma análise ocupacional**

Composto	Concentração (ppm)	VLE – MP (ppm)	VLE-CD (ppm)	Efeitos
X <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	10	30	Ocular, TRS e SNC
X <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	20	40	Ocular e SNC
X <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	25	45	TRS e SNC
X <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	30	50	Asma
X <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>	35	-	Ocular e TRS
X <sub>6</sub>	C <sub>6</sub>	50	80	Efeito Hematológico

Finalizada a tabela auxiliar, procede-se ao cálculo da verificação da conformidade legal.

Existem diversos componentes diferentes que em contacto com o ser humano provocam os mesmos efeitos. Estes, numa análise ocupacional têm que ser considerados com efeitos aditivos.

Apresentam-se duas equações, para cálculo do carácter aditivo, de componentes que produzem o mesmo efeito no corpo humano.

$$VLE - MP \rightarrow \frac{C_1}{VLE-MP_1} + \frac{C_2}{VLE-MP_2} + \frac{C_3}{VLE-MP_3} \leq 1 \quad Eq. (22)$$

$$VLE - CD \rightarrow \frac{C_1}{VLE-CD_1} + \frac{C_2}{VLE-CD_2} + \frac{C_3}{VLE-CD_3} \leq 1 \quad Eq. (23)$$

Existe um caso especial para o cálculo de VLE – CD, quando um contaminante está legislado com um valor de VLE-MP, mas não com o de VLE – CD, deve-se efectuar o cálculo conforme a equação seguinte, para carácter aditivo.

$$VLE - CD \rightarrow \frac{C_1}{VLE-CD_1} + \frac{C_3}{VLE-CD_3} + \frac{C_5}{5 \times (VLE-MP_5)} \leq 1 \quad Eq. (24)$$

Verifica-se que a conformidade legal é atingida quando o somatório é menor ou igual a um.

A legislação ocupacional apresenta os VLE-MP e os VLE-CD, para tempos de exposição de oito horas e quinze minutos, respectivamente. No entanto, o período de exposição não tem estas durações, sendo necessário ponderar o valor da concentração.

No anexo 3, apresenta-se o desenvolvimento de cálculo, que permite a ponderação da concentração do tempo da exposição durante a tarefa, para o tempo de exposição legislado.

Em complemento, à verificação da conformidade legal, realiza-se um cálculo adicional que averigua o caudal necessário de ventilação diluidor, que permita que a concentração verificada no interior da estufa não ultrapasse o VLE legislado, como demonstra a equação seguinte (Mesquita *et al.*, 1988; MacIntyre, 1990).

$$Q_{necessário} = \frac{G}{M} \times V_{molar} \times \frac{10^6}{VLE} \times k \quad Eq. (25)$$

$Q_{necessário}$  = Caudal necessário de ventilação diluidor ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )

$G$  = Taxa de geração de contaminante ( $kg \cdot h^{-1}$ )

$M$  = Massa molecular ( $g \cdot mol^{-1}$ )

$V_{molar}$  = Volume Molar ( $dm^3 \cdot mol^{-1}$ )

$VLE$  = Valor Limite de Exposição de MP ou CD ( $ppm$ )

$k$  = Factor de segurança

Esta equação está desenvolvida no anexo 2, de modo a obter a relação entre o caudal de ventilação necessário e o efeito aditivo dos vários componentes.

### 3.7.2 Conformidade com a Legislação Ambiental

O Decreto-Lei nº 78/2004, de 3 de Abril, cita que, “reconhece ser indispensável tomar as medidas e os procedimentos adequados de prevenção e controlo da poluição provocada por instalações responsáveis pela descarga de poluentes para a atmosfera e estabelece um regime de monitorização diferenciado em função do caudal mássico dos poluentes, para os quais esteja fixado o valor limite de emissão. Neste sentido, são fixados os limiares mássicos máximos e os limiares mássicos mínimos de poluentes atmosféricos”.

A seguinte equação, permite o cálculo do caudal mássico de contaminante, emitido para o ambiente.

$$Q_{mássico} = C \times Q \quad Eq. (26)$$

$Q_{\text{Mássico}}$  = caudal mássico de contaminante ( $kg \cdot h^{-1}$ )

$Q$  = Caudal efectivo de ventilação ( $L \cdot h^{-1}$ )

$C$  = Concentração instantânea de contaminante ( $kg \cdot L^{-1}$ )

### 3.8 Emissões de COV's pela caldeira de aquecimento

Para proporcionar condições ideais para o desenvolvimento da actividade de pintura, é aconselhável a manutenção de uma temperatura interior na estufa de 25 °C, regulada por um sistema de aquecimento que inclui uma caldeira de aquecimento.

O sistema retira o ar do ambiente, passando depois por um filtro de partículas, para a remoção de eventuais impurezas associadas, e por uma caldeira, onde, se necessário, existe uma combustão para o aquecimento do ar.

Os produtos de combustão considerados para a análise são o CO, os compostos de NO<sub>x</sub>, o SO<sub>2</sub> e os COV's, por serem os produtos de combustão com maior relevo em concentração e mais nefastos para o ambiente.

A emissão do CO, NO<sub>x</sub> e COV's pode ser calculada através da equação (27), enquanto a emissão do SO<sub>2</sub> é calculada pela equação (28).

$$E = Cc \times PCI \times FE \quad \text{Eq. (27)}$$

$E$  – Emissão de poluente ( $kg \cdot ano^{-1}$ )

$Cc$  – Combustível consumido ( $T \cdot ano^{-1}$ )

$PCI$  – Poder Calorífico Inferior do combustível ( $GJ \cdot T^{-1}$ )

$FE$  – Factor de Emissão legislado ( $kg \cdot GJ^{-1}$ )

$$E_{SO_2} = Cc \times S \times (1 - (Ret. Cinzas)) \quad \text{Eq. (28)}$$

$E_{SO_2}$  – Emissão de SO<sub>2</sub> ( $t \cdot ano^{-1}$ )

$Cc$  - Combustível consumido ( $t \cdot ano^{-1}$ )

$S$  – Coeficiente de teor de enxofre

$Ret. Cinzas$  – Coeficiente de retenção de enxofre

## **4. Resultados e Discussão**

A ferramenta desenvolvida no capítulo anterior, tem como finalidade, entre outras, a verificação da conformidade legal e normativa das emissões ambientais e ocupacionais na estufa de pintura e emissões ambientais na caldeira de aquecimento.

Este projecto permite à empresa prever as emissões ambientais e ocupacionais, em função da flutuabilidade dos processos produtivos. Como exemplo, tem-se que a concentração de COV's em cada produto é diferente logo, na produção das misturas a realizar, como no primário, na tinta ou no verniz, a concentração de COV's também é diferente, levando a emissões ambientais e ocupacionais distintas. Na mesma óptica, a previsão pode ser realizada se um novo produto ou substância forem adicionados ao processo produtivo, e ser auxiliar na tomada de decisão para um novo fornecedor cujos produtos apresentem menores emissões.



## 4.1 Inventário e Cálculos Estruturais

Para avaliar o método e verificar a sua aplicabilidade, observou-se e analisou-se a preparação e aplicação das misturas no automóvel, como está descrito no ponto 3.1.

A partir da cor a produzir, o *software*, licenciado e autorizado pela marca, apresenta os produtos a misturar com as respectivas quantidades a adicionar.

Na tabela 16, do anexo 5, apresentam-se os componentes que constituem base de solvente dos produtos utilizados no caso prático. Pode-se confirmar, que aquele que apresenta uma maior percentagem de COV's em volume é o verniz, seguido do primário e tinta.

Finalizado o inventário dos componentes utilizados, procedeu-se à recolha, consulta e cálculo dos elementos estruturais da estufa de pintura, para isso, usaram-se as equações (4), (5) e (6) para o cálculo do caudal de aplicação e da velocidade de aplicação.

Na tabela seguinte apresentam-se as características estruturais da estufa, sistema de exaustão, filtros e dimensões.

Tabela 4. Dados Estruturais da estufa de pintura

Caudal Efectivo de exaustão ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	Velocidade Efectiva de exaustão ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Remoção dos filtros – PTS (%)	Remoção dos filtros – COV's (%)	Volume da Estufa ( $\text{m}^3$ )
10691	6,00	95	86,5	59,9

Terminado o processo, a partir da quantidade de produto aplicado, fornecida pelo *software*, e o tempo de aplicação de cada produto em separado, contabilizado com recurso a um cronómetro, podemos proceder ao cálculo do caudal de aplicação.

Na Tabela 5 estão discriminados os resultados obtidos para a caracterização do momento de aplicação do produto.

Produto	Tempo (s)	Quantidade (L)	Caudal de Aplicação ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Diâmetro (m)	Área ( $\text{m}^2$ )	Velocidade de aplicação ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )
Primário	180	0,100	$5,56 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-3}$	$3,14 \times 10^{-6}$	0,176
Tinta	420	0,477	$1,21 \times 10^{-3}$			0,385
Verniz	420	0,707	$1,68 \times 10^{-3}$			0,536

**Tabela 5. Cálculos das características do momento de aplicação do produto**

## **4.2 Balanço de Massa**

Uma das estratégias, para uma melhor percepção e análise dos diferentes fluxos de espécies químicas num espaço fechado, é a elaboração de um balanço de massa.

Numa primeira fase, identificaram-se todas as variáveis intervenientes no processo, os diferentes fluxos de massa, as condições e o regime, considerando este último estacionário durante o tempo de aplicação e não estacionário durante o tempo de repouso, como referido na metodologia.

Na listagem de variáveis usadas, apenas uma se considera que pode variar, a fixação. Durante o projeto esta pode variar entre os 0 – 100%, no entanto, alguns autores referem um intervalo provável de 40 – 60%, não apresentando para este uma base científica plausível, para que se possa atestar com total certeza a sua veracidade, optando-se então por uma gama mais extensa, podendo assim prever todos os cenários possíveis.

Como tal, os vários fluxos de massa no interior da estufa variam conforme o intervalo de fixação assumido inicialmente, do produto à superfície de destino.

Para o cálculo da massa dos diferentes fluxos usam-se as equações (15), (16), (17), (18) e (19). A aplicação da equação (15) está sujeita à consideração de que a mistura é completa e homogénea.

Finalizado o balanço de massa pode-se construir o gráfico da figura 7, em que a legenda para as variáveis encontram-se na tabela 2 do ponto 3.5, que representa a variação dos vários fluxos considerados no interior da estufa por fixação, para o xileno.

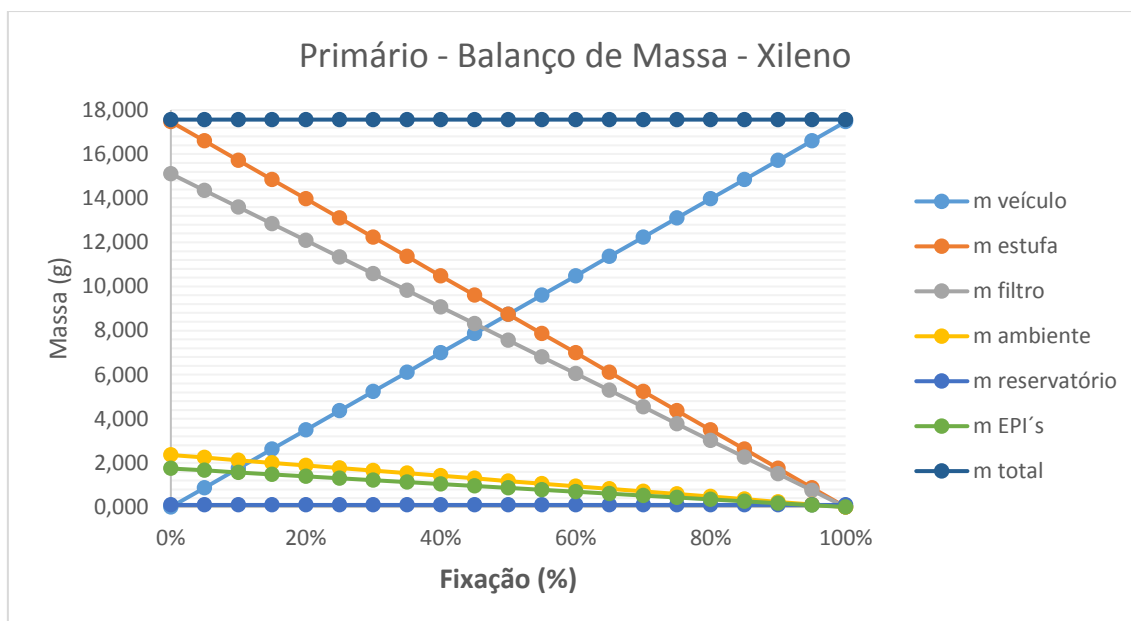


Figura 7. Evolução do fluxo de massa por fixação

Ao analisar a figura 7 verifica-se que a massa de contaminante, no caso do xileno, em cada fluxo varia conforme a fixação do produto a aplicar na superfície de destino, exceptuando a massa do reservatório do aparelho de pintura.

A massa de contaminante presente no reservatório do aparelho de pintura pesou-se numa balança certificada, obtendo-se um valor para uma média ponderada de 465 mg. No caso, de se realizar apenas o balanço de massa a um único componente, como no caso do gráfico acima, deve-se ter em conta a percentagem de volume do componente na mistura.

A massa de COV's presente nos EPI's é de 1% da massa de COV's libertada no ambiente da estufa. Este fenómeno pode ser explicado pelo ponto de aplicação do produto ser à cota da face do pintor, como tal, depois de parte do produto não ser fixado à superfície de destino, retoma a direcção mas com o sentido oposto, o dito "efeito cogumelo", antes de se elevar a uma cota de aproximadamente 2 metros, devido à menor densidade em relação ao ar, para ser retirado pelo sistema de exaustão.

A variabilidade da massa de COV's em cada fluxo, como já referido, está directamente relacionada com a fixação do produto à superfície. Observando a figura 7 verifica-se que uma maior fixação do produto no veículo leva a uma menor massa de COV's em todos os outros fluxos de massa, na atmosfera da estufa, no filtro de retenção à saída, nos EPI's e na quantidade libertada para o meio ambiente.

Analisando a variação da massa de COV's em cada fluxo conclui-se que a emissão a nível ambiental na estufa é bastante reduzida relativamente à massa total emitida, mesmo para uma

fixação nula, que é onde se espera que esta seja maior. Facilmente se constata, que a eficiência dos filtros de retenção de COV's é elevada, comprovada pela sua percentagem de 86,5.

Abordando apenas as emissões no interior estufa de pintura, verifica-se que uma maior fixação do produto ao veículo leva a menores emissões ambientais. No entanto, apesar das emissões serem menores na estufa, quando o veículo ou a peça é colocada no forno, para término do processo, os restantes COV's vão ser evaporados e emitidos para o ambiente, não havendo por isso uma preferência por uma fixação base.

A nível ocupacional verifica-se que apesar da massa de COV's em cada fluxo também variar com a fixação do produto ao veículo, o efeito não é o mesmo comparado com o nível ambiental. Quando a fixação se revela no seu máximo, 100%, a formação da nuvem de contaminantes, precedida do efeito cogumelo não existe, não havendo assim risco ocupacional a declarar dentro da estufa. Enquanto para uma fixação de 0%, os riscos ocupacionais aumentam vertiginosamente, necessitando de métodos estruturais e de protecção individual capazes do tratamento dos mesmos.

### 4.3 Taxa e Concentração Instantânea de contaminante

Como abordado na metodologia de cálculo considerou-se que o regime durante a aplicação do produto é em estado estacionário, não havendo alterações nas propriedades estruturais da estufa, caudal de ventilação, nem no caudal de aplicação do produto.

Inicialmente optou-se por calcular a taxa de geração base, fixação de 0 %,  $G_{(0)}$ , pela equação (9), para todas as substâncias presentes em cada produto, como demonstra a seguinte tabela, no caso o primário.

Tabela 6. Valores da taxa de geração e concentração instantânea do contaminante do primário

Componente	Volume (L)	% volume total da mistura	$\rho$ (kg.L <sup>-1</sup> )	$G_{(0)}$ (mg.s <sup>-1</sup> )	$C_{inst}$ (mg.L <sup>-1</sup> )
Xileno	$2,00 \times 10^{-3}$	20,4	0,861	97,6	0,164
Acetato de n-butilo	$1,00 \times 10^{-3}$	10,9	0,882	53,6	$9,00 \times 10^{-2}$
Etilbenzeno	$6,00 \times 10^{-3}$	5,71	0,866	27,5	$4,60 \times 10^{-2}$
Trimetilbenzeno	$2,00 \times 10^{-3}$	1,63	0,876	7,9	$1,31 \times 10^{-2}$

<b>Tolueno</b>	$1,63 \times 10^{-4}$	0,163	0,967	0,877	$1,00 \times 10^{-3}$
<b>Acrilato de 2 - etilexilo</b>	$1,63 \times 10^{-4}$	0,163	0,885	0,802	$1,00 \times 10^{-3}$
<b>Total</b>	$3,8 \times 10^{-2}$	39,9	-	-	-

A taxa de geração de contaminante, G, é a quantidade de produto gerada por unidade de tempo, em que,  $G_{(0)}$  traduz a quantidade de produto total emitido no interior da estufa

Desconhecendo-se, a quantidade de produto fixa no veículo e na atmosfera da estufa, necessita-se então de calcular as respectivas quantidades. Para isso, efectua-se o cálculo de G para o ambiente da estufa para diferentes fixações como demonstra a equação (21).

Na figura 8, podemos observar a variação das taxas de geração com a fixação, para todos os componentes presentes no verniz, permitindo assim, perceber o quanto importante é a determinação da fixação, para a quantidade de contaminante nos vários fluxos de massa.

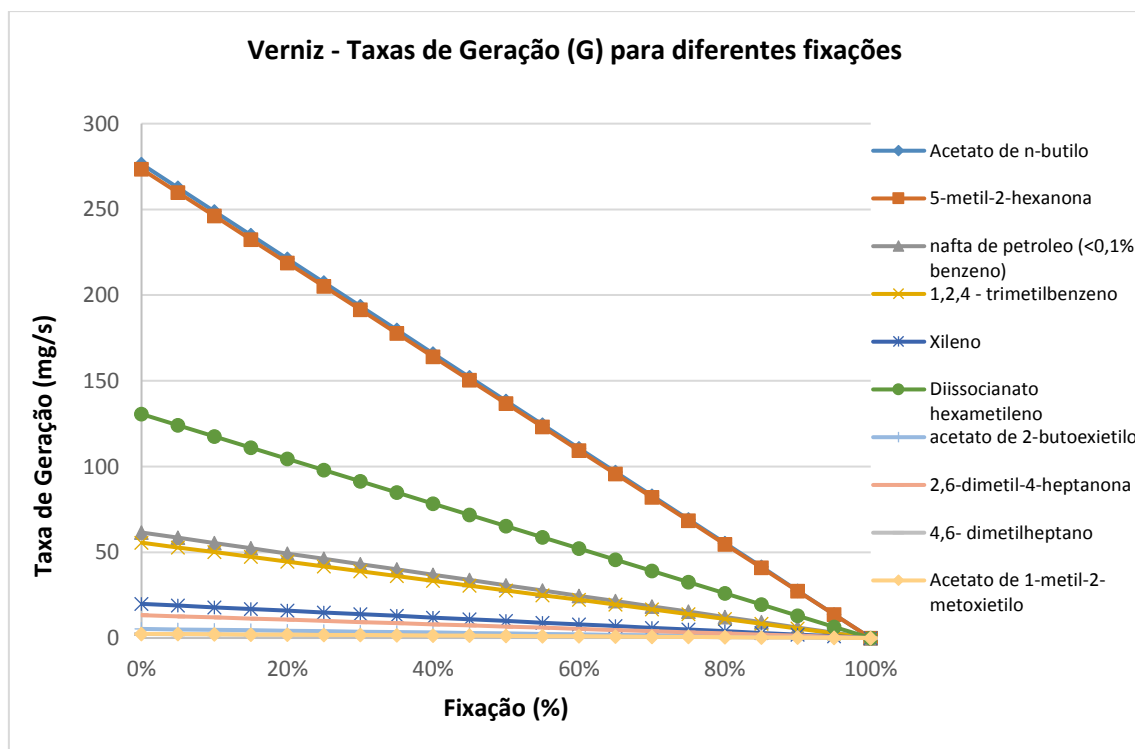


Figura 8. Taxa de Geração para os diferentes componentes do Primário

Uma taxa de geração de contaminante mais elevada leva automaticamente a concentrações mais elevadas em determinados fluxos. Apesar da taxa de geração ser elevada, os fluxos dependem, entre outros, da fixação, não importa que a primeira seja elevada, porque se a fixação associada for próxima dos 100%, não existirá massa de contaminante no fluxo de massa na atmosfera, estando toda no fluxo de massa do veículo.

Findo o estudo da evolução da taxa de geração ao longo da gama de variação da fixação considerada, pode-se iniciar o estudo da evolução da concentração instantânea ( $C_{inst}$ ) presente na estufa de pintura.

Para o cálculo da  $C_{inst}$  tem-se a equação (21), que pressupõe a variação da fixação com a taxa de geração, conseguindo assim prever a concentração em partes por milhão (ppm), de cada contaminante no ambiente da estufa durante a aplicação.

Na figura seguinte, temos a evolução da variação da concentração de contaminante no ambiente da estufa por fixação no verniz.

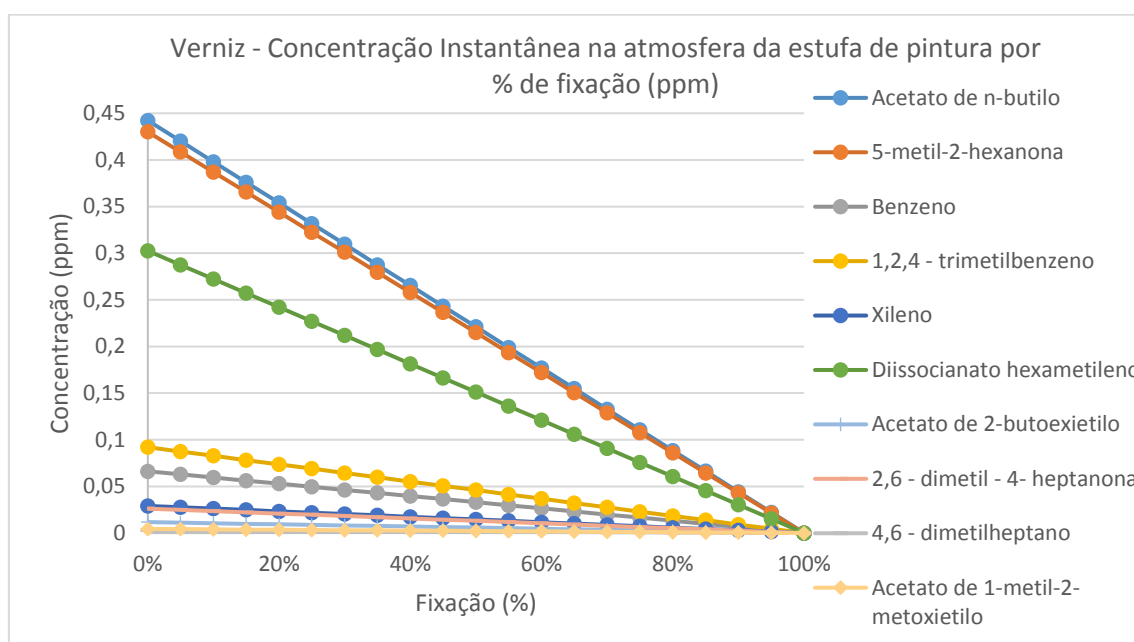


Figura 9. Evolução da concentração instantânea com a fixação

Comparando a figura 8 e 9, verifica-se a directa dependência da taxa de geração e da concentração de contaminantes com a fixação, tendo as duas primeiras uma evolução similar com a variação de fixação, como era esperar.

Analisando a figura 9, consegue-se identificar quais são os contaminantes mais representativos no ambiente da estufa durante a aplicação do verniz, acetato de n-butilo, 5-metil-2-hexanona e o diisocianato de hexametileno, não se devendo concluir sobre a maior ou menor perigosidade destes, visto que para esta avaliação necessita-se de comparações com os  $VLE's_{exp}$  legislados, e não apenas daqueles que apresentam as concentrações mais elevadas.

Ainda, refletindo sobre a figura 9, verificamos que para fixações mais altas as concentrações de contaminante são mais baixas, enquanto para fixações mais baixas, as mesmas são mais altas. Como para concentrações de contaminantes menores, o risco ocupacional também é mais baixo, conclui-se que se deve tentar alcançar uma fixação o mais

alta possível. Actualmente alguns autores sugerem que esta está entre os 40 e 60%, não conseguindo provar cientificamente este intervalo, providenciando, se se verificar, um risco médio para os trabalhadores. Se com o aumento da fixação ainda se verificar concentrações de contaminante que representem qualquer nível elevado de perigosidade ocupacional, deverão ser tomadas outros tipos de métodos de proteção de nível organizacional, estrutural e de proteção individual.

O processo de pintura, como já abordado, envolve três etapas, a aplicação do primário, da tinta e da verniz, tendo entre estas, um intervalo de descanso, para repouso do produto aplicado e para preparação do próximo produto a aplicar, de nunca menos de 5 minutos.

Como nas diferentes etapas existem múltiplos componentes, necessita-se de caracterizar o ambiente da estufa, sendo insuficiente apenas a caracterização de etapa a etapa. Para uma correcta análise dos contaminantes presentes na atmosfera é necessário verificar se estes permanecem na atmosfera de etapa para etapa, ou se o sistema de exaustão é suficientemente capaz para os retirar da estufa.

Consideradas as equações (13) e (14), pode-se calcular a evolução das concentrações durante o tempo de aplicação e repouso, como demonstra as equações 9, 22 e 23.

Caracterizada a atmosfera de trabalho do verniz, considerou-se esta, pois é aquela que apresenta valores mais elevados para a concentração de COV's na atmosfera para uma fixação máxima de 0%. Pode-se construir o gráfico seguinte, que apresenta a evolução dos contaminantes na atmosfera de trabalho durante o tempo de aplicação e descanso, verificando assim, a existência ou não de contaminantes que passem de etapa para etapa.

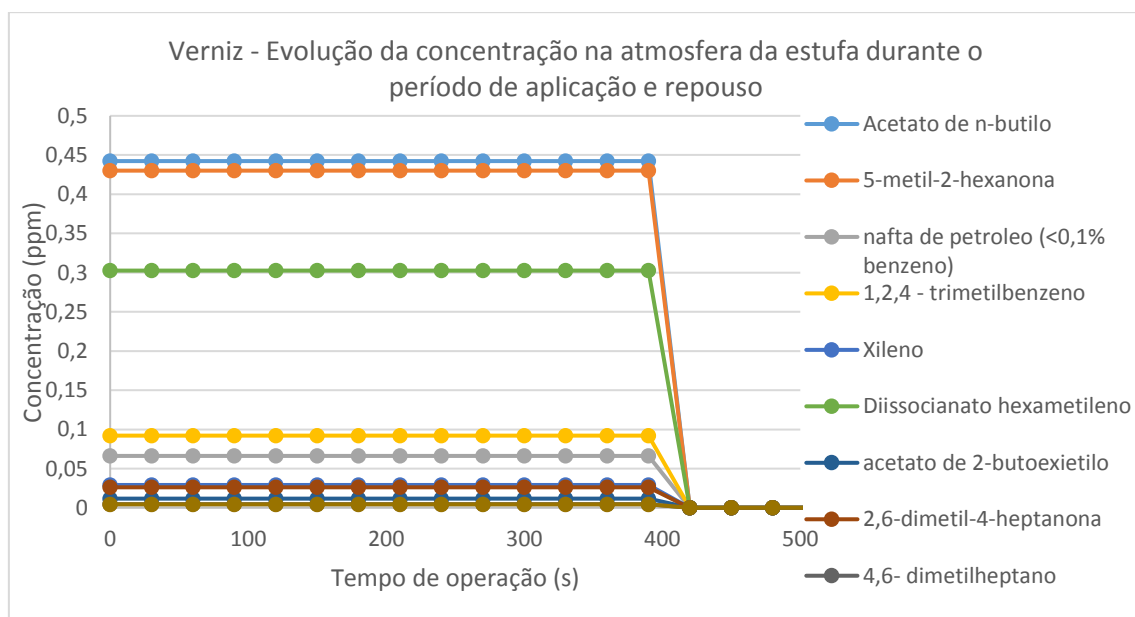


Figura 10. Evolução da concentração na atmosfera de trabalho no interior da estufa - Verniz

Analisando este gráfico pode-se, mais uma vez, verificar que a concentração de cada contaminante não varia durante o tempo de aplicação, seguindo a premissa de estado estacionário.

Findo o período de aplicação, inicia-se o período de descanso, em que o contaminante deixa de ser gerado ficando apenas para evacuar o contaminante disperso na atmosfera da estufa. Verifica-se, pela tabela 17, que durante o tempo de repouso, a concentração do contaminante sofre um decréscimo, atingindo o zero absoluto, em 15 segundos.

Conclui-se que não existe passagem de contaminantes de etapa para etapa, visto que a evacuação, pelo sistema de ventilação, demora 15 segundos e o período de repouso estende-se a pelo menos 5 minutos. Pode-se então assumir que a constituição da atmosfera de trabalho se deve apenas à etapa que está a ser realizada.

## **4.4 Conformidade Legal – Ambiente e Ocupacional**

### **4.4.1 Verificação da Conformidade Legal e Normativa - Ocupacional**

Finalizada a caracterização da atmosfera de trabalho, no interior da estufa de pintura, procede-se à verificação da conformidade legal a nível ocupacional com a legislação em vigor.

Para a verificação da conformidade consultou-se a NP EN 1796:2007 e o Decreto-Lei nº24/2012 em conjugação, como já explicado.

Na atmosfera de uma estufa de pintura, habitualmente coexistem diversos componentes diferentes, mas que em contacto com o ser humano provocam os mesmos efeitos. Estes, numa análise ocupacional têm que ser considerados com efeitos aditivos, ou seja, aquando da recolha dos VLE's de determinados componentes, deve-se também recolher, os efeitos que estes provocam no corpo humano. Se existirem componentes com o mesmo efeito, considera-se efeito aditivo e devem-se usar as equações (22), (23) e (24) se não se verificar efeito aditivo, apenas se necessita de avaliar individualmente os componentes.

Na norma NP EN 1796/2007, tanto os VLE-MP como os VLE-CD, estão definidos para intervalos de tempo específicos. O primeiro está determinado para um dia completo de trabalho, ou seja, oito horas e o segundo, para um período de quinze minutos.

Como os valores calculados analiticamente apenas indicam as concentrações para o período a que o pintor está sujeito, que corresponde ao tempo de aplicação, necessita-se então, de ponderar os valores para oito horas e quinze minutos para se poder realizar a verificação da conformidade legal e normativa através das equações (30) e (31).



Na tabela seguinte, apresentam-se os componentes em análise com os respectivos VLE's e os efeitos, por estes preconizados. Relativamente à tabela, em primeiro lugar pode-se verificar que nem todos os componentes possuem VLE's legislados, logo não são contabilizados para efeitos de análise ocupacional. Em segundo lugar, existem componentes que apenas possuem o VLE-MP legislado e não o VLE-CD, para efeitos de cálculo do efeito aditivo do segundo, considera-se que o VLE-CD é igual a cinco vezes o VLE-MP, como demonstra a equação (24).

**Tabela 7. VLE's dos componentes presentes nas três etapas do processo de pintura**

	<b>Composto</b>	<b>VLE-MP (ppm)</b>	<b>VLE- CD (ppm)</b>	<b>Efeitos</b>
<b>Primário</b>	<b>Xileno</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>Ocular, TRS e SNC</b>
	<b>Acetato de n-butilo</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>Ocular e do TRS</b>
	<b>Etilbenzeno</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>Ocular, TRS e SNC</b>
	<b>1,2,4 - Trimetilbenzeno</b>	<b>25</b>	<b>-</b>	<b>SNC; Asma; Efeito hematológico</b>
	<b>Tolueno</b>	<b>50</b>	<b>-</b>	<b>TRS; SNC; Irritação ocular</b>
	<b>Acrilato de 2 - etilexilo</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Tinta</b>	<b>1-metoxi-2-propanol</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>Irritação ocular e SNC</b>
	<b>1 - Propanol</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>Irritação (ocular, TRS), SNC</b>
	<b>Pentano-1-ol</b>	<b>600</b>	<b>-</b>	<b>Neuropatia Periférica</b>
	<b>2 - Dimetilaminoetanol</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>Irritação do TRS, convulsões do SNC</b>
	<b>Dimetil isopropilamina</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>2,4,7,9 - Tetrametildec - 5-ino - 4,7 diol</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>Eter monometílico de dipropilenoglicol</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>Acetona</b>	<b>500</b>	<b>750</b>	<b>Irritação ocular e do TRS, Afecção do SNC e efeitos hematológicos</b>
	<b>Polipropileno glicol</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Verniz</b>	<b>Acetato de n-butilo</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>Irritação ocular e TRS</b>
	<b>5-metil-2-hexanona</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>Nafta de petroleo (&lt;0,1% benzeno)</b>	<b>0,5</b>	<b>2,5</b>	<b>Leucemia</b>
	<b>Trimetilbenzeno</b>	<b>25</b>	<b>-</b>	<b>SNC, Asma, efeito hematológico</b>
	<b>Xileno</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>Irritação ocular e do TRS; Afecção do SNC</b>
	<b>Diisocianato hexametileno</b>	<b>0,005</b>	<b>-</b>	<b>Irritação do TRS</b>
	<b>Acetato de 2-butoxietilo</b>	<b>20</b>	<b>-</b>	<b>Hemólise</b>
	<b>2,6-dimetil-4-heptanona</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
	<b>4,6- Dimetilheptano</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

	<b>Acetato de 1-metil-2-metoxietilo</b>	<b>0,1</b>	<b>-</b>	<b>Efeitos hematológicos; Sistema Reprodutor</b>
--	---	------------	----------	--

Na verificação da conformidade legal para componentes com efeito aditivo, considera-se para efeitos de validação legal, que a adição dos vários valores deverá ser inferior ou igual à unidade, no entanto, é também aceite pela comunidade científica que só se verifica a conformidade legal quando a soma é menor que a unidade.

Na seguinte tabela apresentam-se os valores de cálculo do VLE-MP, devidamente ponderados a 8 horas, para a gama de fixação considerada e para os efeitos considerados.

**Tabela 8. Verificação da conformidade legal VLE-MP**

Fixação (%)	Concentração (ppm)					
	Ocular	TRS	SNC	Efeito hematológico	Sistema Reprodutor	Asma
0	$7,90 \times 10^{-6}$	$8,83 \times 10^{-2}$	$8,02 \times 10^{-6}$	$2,64 \times 10^{-4}$	$6,45 \times 10^{-5}$	$5,73 \times 10^{-6}$
5	$7,50 \times 10^{-6}$	$8,39 \times 10^{-2}$	$7,62 \times 10^{-6}$	$2,51 \times 10^{-4}$	$6,13 \times 10^{-5}$	$5,44 \times 10^{-6}$
10	$7,11 \times 10^{-6}$	$7,94 \times 10^{-2}$	$7,22 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-4}$	$5,81 \times 10^{-5}$	$5,16 \times 10^{-6}$
15	$6,71 \times 10^{-6}$	$7,50 \times 10^{-2}$	$6,82 \times 10^{-6}$	$2,25 \times 10^{-4}$	$5,49 \times 10^{-5}$	$4,87 \times 10^{-6}$
20	$6,32 \times 10^{-6}$	$7,06 \times 10^{-2}$	$6,42 \times 10^{-6}$	$2,11 \times 10^{-4}$	$5,16 \times 10^{-5}$	$4,58 \times 10^{-6}$
25	$5,92 \times 10^{-6}$	$6,62 \times 10^{-2}$	$6,02 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^{-4}$	$4,84 \times 10^{-5}$	$4,30 \times 10^{-6}$
30	$5,53 \times 10^{-6}$	$6,18 \times 10^{-2}$	$5,62 \times 10^{-6}$	$1,85 \times 10^{-4}$	$4,52 \times 10^{-5}$	$4,01 \times 10^{-6}$
35	$5,13 \times 10^{-6}$	$5,74 \times 10^{-2}$	$5,21 \times 10^{-6}$	$1,72 \times 10^{-4}$	$4,20 \times 10^{-5}$	$3,72 \times 10^{-6}$
40	$4,74 \times 10^{-6}$	$5,30 \times 10^{-2}$	$4,81 \times 10^{-6}$	$1,59 \times 10^{-4}$	$3,87 \times 10^{-5}$	$3,44 \times 10^{-6}$
45	$4,34 \times 10^{-6}$	$4,85 \times 10^{-2}$	$4,41 \times 10^{-6}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$3,55 \times 10^{-5}$	$3,15 \times 10^{-6}$
50	$3,95 \times 10^{-6}$	$4,41 \times 10^{-2}$	$4,01 \times 10^{-6}$	$1,32 \times 10^{-4}$	$3,23 \times 10^{-5}$	$2,86 \times 10^{-6}$
55	$3,55 \times 10^{-6}$	$3,97 \times 10^{-2}$	$3,61 \times 10^{-6}$	$1,19 \times 10^{-4}$	$2,90 \times 10^{-5}$	$2,58 \times 10^{-6}$
60	$3,16 \times 10^{-6}$	$3,53 \times 10^{-2}$	$3,21 \times 10^{-6}$	$1,06 \times 10^{-4}$	$2,58 \times 10^{-5}$	$2,29 \times 10^{-6}$
65	$2,76 \times 10^{-6}$	$3,09 \times 10^{-2}$	$2,81 \times 10^{-6}$	$9,25 \times 10^{-5}$	$2,26 \times 10^{-5}$	$2,01 \times 10^{-6}$
70	$2,37 \times 10^{-6}$	$2,65 \times 10^{-2}$	$2,41 \times 10^{-6}$	$7,93 \times 10^{-5}$	$1,94 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-6}$
75	$1,97 \times 10^{-6}$	$2,21 \times 10^{-2}$	$2,01 \times 10^{-6}$	$6,61 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$	$1,43 \times 10^{-6}$
80	$1,58 \times 10^{-6}$	$1,77 \times 10^{-2}$	$1,60 \times 10^{-6}$	$5,29 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-5}$	$1,15 \times 10^{-6}$
85	$1,18 \times 10^{-6}$	$1,32 \times 10^{-2}$	$1,20 \times 10^{-6}$	$3,96 \times 10^{-5}$	$9,68 \times 10^{-6}$	$8,59 \times 10^{-7}$
90	$7,90 \times 10^{-7}$	$8,83 \times 10^{-3}$	$8,02 \times 10^{-7}$	$2,64 \times 10^{-5}$	$6,45 \times 10^{-6}$	$5,73 \times 10^{-7}$
95	$3,95 \times 10^{-7}$	$4,41 \times 10^{-3}$	$4,01 \times 10^{-7}$	$1,32 \times 10^{-5}$	$3,23 \times 10^{-6}$	$2,86 \times 10^{-7}$
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Examinando a tabela, verifica-se que nenhum dos efeitos apresenta uma não conformidade legal, situando-se abaixo do limite estabelecido e do valor de acção, não estando sujeito a medidas adicionais de controlo.

Analogamente ao executado para o VLE-MP, realizou-se a mesma análise para o VLE-CD, ponderando, desta vez, a quinze minutos.

**Tabela 9. Verificação da conformidade legal VLE-CD**

Fixação (%)	Concentração (ppm)					
	Ocular	TRS	SNC	Efeito hematológico	Sistema Reprodutor	Asma
0	$1,81 \times 10^{-4}$	0,565	$8,61 \times 10^{-5}$	$1,69 \times 10^{-3}$	$4,13 \times 10^{-4}$	$3,67 \times 10^{-5}$
5	$1,72 \times 10^{-4}$	0,537	$8,17 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-4}$	$3,48 \times 10^{-5}$
10	$1,63 \times 10^{-4}$	0,509	$7,74 \times 10^{-5}$	$1,52 \times 10^{-3}$	$3,72 \times 10^{-4}$	$3,30 \times 10^{-5}$
15	$1,54 \times 10^{-4}$	0,480	$7,31 \times 10^{-5}$	$1,44 \times 10^{-3}$	$3,51 \times 10^{-4}$	$3,12 \times 10^{-5}$
20	$1,45 \times 10^{-4}$	0,452	$6,88 \times 10^{-5}$	$1,35 \times 10^{-3}$	$3,30 \times 10^{-4}$	$2,93 \times 10^{-5}$
25	$1,36 \times 10^{-4}$	0,424	$6,45 \times 10^{-5}$	$1,27 \times 10^{-3}$	$3,10 \times 10^{-4}$	$2,75 \times 10^{-5}$
30	$1,27 \times 10^{-4}$	0,396	$6,02 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-3}$	$2,89 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-5}$
35	$1,18 \times 10^{-4}$	0,367	$5,59 \times 10^{-5}$	$1,10 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-4}$	$2,38 \times 10^{-5}$
40	$1,09 \times 10^{-4}$	0,339	$5,16 \times 10^{-5}$	$1,02 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$
45	$9,98 \times 10^{-5}$	0,311	$4,73 \times 10^{-5}$	$9,31 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$	$2,02 \times 10^{-5}$
50	$9,07 \times 10^{-5}$	0,283	$4,30 \times 10^{-5}$	$8,46 \times 10^{-4}$	$2,07 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-5}$
55	$8,16 \times 10^{-5}$	0,254	$3,87 \times 10^{-5}$	$7,61 \times 10^{-4}$	$1,86 \times 10^{-4}$	$1,65 \times 10^{-5}$
60	$7,26 \times 10^{-5}$	0,226	$3,44 \times 10^{-5}$	$6,77 \times 10^{-4}$	$1,65 \times 10^{-4}$	$1,47 \times 10^{-5}$
65	$6,35 \times 10^{-5}$	0,198	$3,01 \times 10^{-5}$	$5,92 \times 10^{-4}$	$1,45 \times 10^{-4}$	$1,28 \times 10^{-5}$
70	$5,44 \times 10^{-5}$	0,170	$2,58 \times 10^{-5}$	$5,08 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-4}$	$1,10 \times 10^{-5}$
75	$4,54 \times 10^{-5}$	0,141	$2,15 \times 10^{-5}$	$4,23 \times 10^{-4}$	$1,03 \times 10^{-4}$	$9,17 \times 10^{-6}$
80	$3,63 \times 10^{-5}$	0,113	$1,72 \times 10^{-5}$	$3,38 \times 10^{-4}$	$8,26 \times 10^{-5}$	$7,33 \times 10^{-6}$
85	$2,72 \times 10^{-5}$	0,085	$1,29 \times 10^{-5}$	$2,54 \times 10^{-4}$	$6,20 \times 10^{-5}$	$5,50 \times 10^{-6}$
90	$1,81 \times 10^{-5}$	0,057	$8,61 \times 10^{-6}$	$1,69 \times 10^{-4}$	$4,13 \times 10^{-5}$	$3,67 \times 10^{-6}$
95	$9,07 \times 10^{-6}$	0,028	$4,30 \times 10^{-6}$	$8,46 \times 10^{-5}$	$2,07 \times 10^{-5}$	$1,83 \times 10^{-6}$
100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Relativamente aos valores obtidos para o VLE-CD, todos os efeitos estão em conformidade legal, estando todos estes, excepto o TRS, bastante abaixo do limite determinado. Quanto ao efeito de TRS, este apresenta valores de VLE-CD, para algumas fixações, acima do valor de acção, devendo, por isso, ser feita uma análise, com períodos bimensais, assegurando medidas de prevenção e protecção que permitam um controlo do mesmo.

Ambos os cálculos realizaram-se considerando a existência do caudal de ventilação, em funcionamento contínuo, e uso de máscara completa de classe P<sub>2</sub>. Esta máscara impede o contacto direto, de impurezas e contaminantes presentes na atmosfera com as vias

respiratórias, possuindo dois filtros, um físico para as partículas PTS e um químico para os COV's e outros contaminantes.

Segundo o fornecedor, a máscara de trabalho apresenta uma eficiência de remoção de COV's e outros contaminantes de 90%, confirmando então que apenas 10% da concentração de COV's na atmosfera de trabalho entra em contacto direto com o corpo humano.

Um dos maiores erros numa verificação da conformidade legal a uma mistura, é apenas, se necessário, efetuar a análise de efeito aditivo, e não proceder também à avaliação individual de cada um.

Quando a soma dos diversos quocientes dos componentes com efeito aditivo estiver acima do limite legislado ou do valor de acção deverá ser feita uma análise individual a cada um, nunca se devendo tirar conclusões, sobre qual o componente que apresenta maior toxicidade na mistura apenas pela comparação das concentrações entre estes, devendo-se sempre concluir com base na comparação das concentrações com os respetivos VLE's.

Como forma de exemplo, temos a situação para efeitos do TRS, em que se verifica através da tabela 15, que dois dos componentes que contribuem, em maior escala, para este efeito são o acetato de n-butilo e o diisocianato de hexametileno, ambos presentes no verniz.

Consultando a figura 9, verifica-se que a concentração na atmosfera de trabalho, de acetato de n-butilo é um pouco superior à do diisocianato de hexametileno, no entanto, consultando a tabela 7, constata-se que o VLE-MP do primeiro é de 150 ppm e do segundo de 0,005 ppm. Comparando, verifica-se que a relação dos VLE's é de 1:30000, e a das concentrações de 1,5:1, logo o contaminante que contribui de forma mais severa para efeitos de TRS é o diisocianato de hexametileno.

Adicionalmente à verificação da conformidade legal das concentrações de contaminantes na atmosfera da estufa, calculou-se o caudal necessário de ventilação geral diluidora para a evacuação de contaminantes na estufa, tendo em conta a concentração verificada e o VLE respetivo, pela equação 29, no anexo 2.

Nas tabelas seguintes, apresentam-se os caudais de ventilação mínimos calculados para os efeitos provocados pelos componentes presentes na atmosfera de trabalho, para diferentes gamas de fixação.

Tabela 10. Cálculo do caudal necessário para diluição - VLE-MP

Q <sub>necessário</sub> (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ) - VLE-MP						
Fixação (%)	Ocular	TRS	SNC	Efeito hematológico	Sistema Reprodutor	Asma
0%	4,22	4,72×10 <sup>4</sup>	4,29	1,41×10 <sup>2</sup>	3,45×10 <sup>1</sup>	3,06
5%	4,01	4,48×10 <sup>4</sup>	4,07	1,34×10 <sup>2</sup>	3,28×10 <sup>1</sup>	2,90
10%	3,80	4,25×10 <sup>4</sup>	3,86	1,27×10 <sup>2</sup>	3,11×10 <sup>1</sup>	2,76
15%	3,59	4,01×10 <sup>4</sup>	3,65	1,20×10 <sup>2</sup>	2,93×10 <sup>1</sup>	2,60
20%	3,38	3,77×10 <sup>4</sup>	3,43	1,13×10 <sup>2</sup>	2,76×10 <sup>1</sup>	2,45
25%	3,17	3,54×10 <sup>4</sup>	3,22	1,06×10 <sup>2</sup>	2,59×10 <sup>1</sup>	2,30
30%	2,96	3,30×10 <sup>4</sup>	3,00	9,89×10 <sup>1</sup>	2,42×10 <sup>1</sup>	2,14
35%	2,74	3,07×10 <sup>4</sup>	2,79	9,18×10 <sup>1</sup>	2,24×10 <sup>1</sup>	1,99
40%	2,53	2,83×10 <sup>4</sup>	2,57	8,48×10 <sup>1</sup>	2,07×10 <sup>1</sup>	1,84
45%	2,32	2,60×10 <sup>4</sup>	2,36	7,77×10 <sup>1</sup>	1,90×10 <sup>1</sup>	1,68
50%	2,11	2,36×10 <sup>4</sup>	2,14	7,06×10 <sup>1</sup>	1,73×10 <sup>1</sup>	1,53
55%	1,90	2,12×10 <sup>4</sup>	1,93	6,36×10 <sup>1</sup>	1,55×10 <sup>1</sup>	1,38
60%	1,69	1,89×10 <sup>4</sup>	1,72	5,65×10 <sup>1</sup>	1,38×10 <sup>1</sup>	1,23
65%	1,48	1,65×10 <sup>4</sup>	1,50	4,94×10 <sup>1</sup>	1,21×10 <sup>1</sup>	1,07
70%	1,27	1,42×10 <sup>4</sup>	1,29	4,24×10 <sup>1</sup>	1,04×10 <sup>1</sup>	9,19×10 <sup>-1</sup>
75%	1,06	1,18×10 <sup>4</sup>	1,07	3,53×10 <sup>1</sup>	8,63	7,66×10 <sup>-1</sup>
80%	8,44×10 <sup>-1</sup>	9,44×10 <sup>3</sup>	8,58×10 <sup>-1</sup>	2,83×10 <sup>1</sup>	6,90	6,13×10 <sup>-1</sup>
85%	6,33×10 <sup>-1</sup>	7,08×10 <sup>3</sup>	6,43×10 <sup>-1</sup>	2,12×10 <sup>1</sup>	5,18	4,59×10 <sup>-1</sup>
90%	4,22×10 <sup>-1</sup>	4,72×10 <sup>3</sup>	4,29×10 <sup>-1</sup>	1,41×10 <sup>1</sup>	3,45	3,06×10 <sup>-1</sup>
95%	2,11×10 <sup>-1</sup>	2,36×10 <sup>3</sup>	2,14×10 <sup>-1</sup>	7,06	1,73	1,53×10 <sup>-1</sup>
100%	0	0	0	0	0	0

Q <sub>necessário</sub> (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ) - VLE-CD						
Fixação (%)	Ocular	TRS	SNC	Efeito hematológico	Sistema Reprodutor	Asma
0%	9,70×10 <sup>1</sup>	3,02×10 <sup>5</sup>	4,60×10 <sup>1</sup>	9,04×10 <sup>2</sup>	2,21×10 <sup>2</sup>	1,96×10 <sup>1</sup>
5%	9,21×10 <sup>1</sup>	2,87×10 <sup>5</sup>	4,37×10 <sup>1</sup>	8,59×10 <sup>2</sup>	2,10×10 <sup>2</sup>	1,86×10 <sup>1</sup>
10%	8,73×10 <sup>1</sup>	2,72×10 <sup>5</sup>	4,14×10 <sup>1</sup>	8,14×10 <sup>2</sup>	1,99×10 <sup>2</sup>	1,76×10 <sup>1</sup>
15%	8,24×10 <sup>1</sup>	2,57×10 <sup>5</sup>	3,91×10 <sup>1</sup>	7,69×10 <sup>2</sup>	1,88×10 <sup>2</sup>	1,67×10 <sup>1</sup>
20%	7,76×10 <sup>1</sup>	2,42×10 <sup>5</sup>	3,68×10 <sup>1</sup>	7,24×10 <sup>2</sup>	1,77×10 <sup>2</sup>	1,57×10 <sup>1</sup>
25%	7,27×10 <sup>1</sup>	2,27×10 <sup>5</sup>	3,45×10 <sup>1</sup>	6,78×10 <sup>2</sup>	1,66×10 <sup>2</sup>	1,47×10 <sup>1</sup>
30%	6,79×10 <sup>1</sup>	2,11×10 <sup>5</sup>	3,22×10 <sup>1</sup>	6,33×10 <sup>2</sup>	1,55×10 <sup>2</sup>	1,37×10 <sup>1</sup>
35%	6,30×10 <sup>1</sup>	1,96×10 <sup>5</sup>	2,99×10 <sup>1</sup>	5,88×10 <sup>2</sup>	1,44×10 <sup>2</sup>	1,27×10 <sup>1</sup>
40%	5,82×10 <sup>1</sup>	1,81×10 <sup>5</sup>	2,76×10 <sup>1</sup>	5,43×10 <sup>2</sup>	1,32×10 <sup>2</sup>	1,18×10 <sup>1</sup>
45%	5,3×10 <sup>1</sup>	1,66×10 <sup>5</sup>	2,53×10 <sup>1</sup>	4,97×10 <sup>2</sup>	1,21×10 <sup>2</sup>	1,08×10 <sup>1</sup>
50%	4,85×10 <sup>1</sup>	1,51×10 <sup>5</sup>	2,30×10 <sup>1</sup>	4,52×10 <sup>2</sup>	1,10×10 <sup>2</sup>	9,80
55%	4,36×10 <sup>1</sup>	1,36×10 <sup>5</sup>	2,07×10 <sup>1</sup>	4,07×10 <sup>2</sup>	9,94×10 <sup>1</sup>	8,82
60%	3,88×10 <sup>1</sup>	1,21×10 <sup>5</sup>	1,84×10 <sup>1</sup>	3,62×10 <sup>2</sup>	8,83×10 <sup>1</sup>	7,84
65%	3,39×10 <sup>1</sup>	1,06×10 <sup>5</sup>	1,61×10 <sup>1</sup>	3,17×10 <sup>2</sup>	7,73×10 <sup>1</sup>	6,86
70%	2,91×10 <sup>1</sup>	9,06×10 <sup>4</sup>	1,38×10 <sup>1</sup>	2,71×10 <sup>2</sup>	6,62×10 <sup>1</sup>	5,88
75%	2,42×10 <sup>1</sup>	7,55×10 <sup>4</sup>	1,15×10 <sup>1</sup>	2,26×10 <sup>2</sup>	5,52×10 <sup>1</sup>	4,90
80%	1,94×10 <sup>1</sup>	6,04×10 <sup>4</sup>	9,20	1,81×10 <sup>2</sup>	4,42×10 <sup>1</sup>	3,92
85%	1,45×10 <sup>1</sup>	4,53×10 <sup>4</sup>	6,90	1,36×10 <sup>2</sup>	3,31×10 <sup>1</sup>	2,94
90%	9,70	3,02×10 <sup>4</sup>	4,60	9,04×10 <sup>1</sup>	2,21×10 <sup>1</sup>	1,96
95%	4,85	1,51×10 <sup>4</sup>	2,30	4,52×10 <sup>1</sup>	1,10×10 <sup>1</sup>	9,80×10 <sup>-1</sup>
100%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Tabela 11. Cálculo do caudal necessário para diluição dos contaminantes - VLE-CD

Analisando as tabelas 10 e 11, verifica-se a coerência dos resultados obtidos, para o caudal efetivo de ventilação diluidor necessário (Q<sub>necessário</sub>), entre os valores de VLE-MP e o VLE-CD, apresentando a mesma tendência por efeito e entre efeitos no corpo humano.

Os resultados obtidos para o caudal necessário de ventilação (Q<sub>necessário</sub>), seguem a propensão da análise efetuada aos VLE's da mistura com efeito aditivo, em que, todos apresentam caudais necessários bastante inferiores ao caudal de ventilação verificado na estufa, excepto para efeitos de TRS, ou seja, para este efeito, o caudal de ventilação, 10691m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, não permite um controlo eficiente dos contaminantes, necessitando de medidas estruturais ou de proteção individual que permitam uma segurança total ao trabalhador.

Apesar de para efeitos de TRS existirem caudais necessários acima do caudal verificado no interior da estufa, para fixações mais baixas, este défice é compensado pela proteção que os EPI's fornecem. Na estufa de pintura, as luvas, fato e botas são de uso obrigatório, além da já

abordada máscara completa P<sub>2</sub>. Os EPI's conferem a protecção adequada, protegendo o corpo humano de eventuais agressões do meio envolvente, estando apenas as vias respiratórias e a zona cutânea circundante, em contacto com os contaminantes. No entanto, apesar do contacto, a eficiência de remoção de COV's e outros contaminantes pela máscara está assegurada, compensando o défice do caudal necessário, não havendo por isso a necessidade de medidas adicionais a implementar.

#### 4.4.2 Verificação da Conformidade Legal - Ambiente

Como na verificação da conformidade legal a nível ocupacional, procedeu-se à verificação da conformidade mas a nível ambiental. No caso da estufa em análise apenas necessita da verificação da conformidade legal ao nível de emissões gasosas.

A verificação da conformidade legal das emissões realizou-se para duas fontes distintas, uma com origem no interior da estufa e outra na caldeira de aquecimento, a qual apesar de não ter influência direta no processo de pintura, permite o desenvolvimento do mesmo a condições de temperatura óptimas.

Relativamente às emissões, são avaliados na estufa de pintura, os COV's, enquanto na caldeira, além dos COV's, optou-se por analisar outros produtos da combustão, como o CO, o CO<sub>2</sub>, os compostos de NO<sub>x</sub> e o SO<sub>2</sub>, visto que, as consequências destes, para o ambiente, são bastante gravosas e necessitam de ser contabilizadas e controladas.

Para o cálculo das emissões dos compostos, provenientes da caldeira de aquecimento, utiliza-se a equação (27) para os COV's, CO, CO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> e a equação (28) para o SO<sub>2</sub>.

Na tabela seguinte, apresentam-se os resultados das emissões ambientais da caldeira de aquecimento para os quatro compostos considerados

**Tabela 12. Emissões da caldeira de combustão**

	Combustível Consumido (t.ano <sup>-1</sup> )	PCI (GJ.ton <sup>-1</sup> )	F.E (kg.GJ <sup>-1</sup> )	Coeficiente (S)	Coeficiente Retenção de Cinzas	Emissões (kg.h <sup>-1</sup> )	Concentração (mgN.m <sup>-3</sup> )
COV's	0,463	43,1	0,001	-	-	1,99×10 <sup>-2</sup>	1,86
NO <sub>x</sub>			0,06	-	-	1,20	1,12×10 <sup>2</sup>
CO			0,012	-	-	2,39×10 <sup>-1</sup>	2,24×10 <sup>2</sup>
SO <sub>2</sub>		-	-	0,001	0	4,63×10 <sup>-4</sup>	4,33×10 <sup>-2</sup>

Recorrendo à Portaria nº 80/2006, podem-se comparar as emissões produzidas pela combustão, com os limites mássicos legais. Verifica-se que a conformidade legal se confirma, por larga margem, não contemplando assim, qualquer tipo de preocupação acessória em termos de risco ambiental. Relativamente às concentrações verificadas, confrontadas com os  $VLE_{em}$  da portaria nº 675/2009, estão em conformidade legal por uma margem razoável, como se pode verificar pela tabela 18 no anexo 6.

Ao invés da legislação ocupacional, a legislação ambiental não detalha, especificamente, os  $VLE$ 's, para os limites mássicos e concentração, para os COV's individualmente. Apenas apresenta limites específicos, para algumas substâncias orgânicas e cancerígenas. Relativamente à atmosfera de trabalho, não se verifica a existência de nenhuma substância orgânica e apenas um agente cancerígeno, o benzeno presente na nafta de petróleo.

Através do fluxo de massa do balanço,  $m_{amb}$ , consegue-se obter a massa de contaminante emitido para o ambiente, o quociente desta com o volume permite obter a concentração emitida por fixação, tanto para os COV's como para o benzeno.

Quando se procede ao cálculo da concentração emitida para o ambiente, esta é apenas para o tempo de emissão, ou seja, o tempo de aplicação, mais o tempo que demora a evacuar durante o período de repouso. O tempo de evacuação pode ser consultado pela tabela 16 para efeitos de cálculo, considera-se 15 segundos pois é quando a concentração atinge o zero absoluto.

Finalizada a obtenção das emissões ambientais pela ferramenta de cálculo procedeu-se à validação da mesma, comparando os valores obtidos com o relatório realizado por uma empresa externa, para a caracterização dos efluentes gasosos.

As medições efetuadas pela empresa externa estão realizadas para uma capacidade nominal de utilização da estufa de pintura de  $5 \text{ h.dia}^{-1}$ , para as quais a ferramenta necessita que se adaptar porque se o conjunto das etapas não atingir as 5 horas de processo produtivo, como é o caso, é necessário ponderar a concentração de COV's para o tempo de utilização pretendido. De salientar que a comparação só pôde ser feita para os COV's, visto que o relatório, apresentado pela empresa externa, não abordou o benzeno.

Na tabela seguinte, apresenta-se os valores da concentração e de caudal mássico para os COV's e o benzeno.



**Tabela 13. Verificação da conformidade legal ambiental - COV's e Benzeno**

Fixação (%)	COV's		Benzeno	
	Concentração total (mg.(N.m) <sup>-3</sup> )	Caudal mássico (kg.h <sup>-1</sup> )	Concentração total (mg.(Nm) <sup>-3</sup> )	Caudal mássico (kg.h <sup>-1</sup> )
0%	24,6	0,26	0,84	8,98×10 <sup>-3</sup>
5%	23,4	0,25	0,80	8,54×10 <sup>-3</sup>
10%	22,2	0,24	0,76	8,09×10 <sup>-3</sup>
15%	20,9	0,22	0,72	7,64×10 <sup>-3</sup>
20%	19,7	0,21	0,67	7,20×10 <sup>-3</sup>
25%	18,5	0,20	0,63	6,75×10 <sup>-3</sup>
30%	17,2	0,18	0,59	6,30×10 <sup>-3</sup>
35%	16,0	0,17	0,55	5,85×10 <sup>-3</sup>
40%	14,8	0,16	0,50	5,40×10 <sup>-3</sup>
45%	13,5	0,14	0,46	4,95×10 <sup>-3</sup>
50%	12,3	0,13	0,42	4,50×10 <sup>-3</sup>
55%	11,1	0,12	0,38	4,05×10 <sup>-3</sup>
60%	9,85	0,11	0,34	3,60×10 <sup>-3</sup>
65%	8,62	0,09	0,29	3,15×10 <sup>-3</sup>
70%	7,39	0,08	0,25	2,70×10 <sup>-3</sup>
75%	6,16	0,07	0,21	2,25×10 <sup>-3</sup>
80%	4,93	0,05	0,17	1,80×10 <sup>-3</sup>
85%	3,69	0,04	0,13	1,35×10 <sup>-3</sup>
90%	2,46	0,03	0,08	8,99×10 <sup>-4</sup>
95%	1,23	0,01	0,04	4,50×10 <sup>-4</sup>
100%	0,00	0,00	0,00	0,00

Apresenta-se na tabela 14, os valores medidos, pela empresa externa, da caracterização da presença de COV's nos efluentes gasosos.

**Tabela 14. Empresa Externa: Valores da caracterização de efluentes gasosos da estufa de pintura**

Ensaio	Concentração ((mg.(N.m) <sup>-3</sup> )	Caudal mássico (kg.h <sup>-1</sup> )
COV's	11	0,11

Comparando as duas tabelas 13 e 14, verifica-se a comprovação dos resultados obtidos para uma concentração e um caudal mássico de COV's. Representados a verde, na tabela 13, está a correspondência dos valores do relatório, da empresa externa, com os valores obtidos pela ferramenta de trabalho, para a concentração e o caudal mássico de COV's, que correspondem a fixações de 60 e de 55%, respetivamente, integrando o intervalo de fixação aceite pela comunidade científica que se situa entre 40 a 60% de fixação.

Como existe uma corroboração dos resultados, podemos afirmar que a ferramenta adaptada para a empresa Grupo NORS, pode ser usada na previsão das emissões gasosas provenientes da estufa de pintura.

## 5. Conclusão

O projeto, consistiu em desenvolver uma ferramenta de cálculo, com métodos estritamente analíticos, que permite prever e caracterizar a atmosfera de trabalho, caracterização estrutural da estufa e do momento de aplicação dos produtos, avaliação dos métodos estruturais e de protecção individual e, por fim, verificação da conformidade legal e normativa a nível ocupacional e ambiental.

Elaborou-se, inicialmente, um balanço de massa dos fluxos no interior da estufa. Neste balanço, e em todo o projeto, apenas existiu uma variável, a fixação. Na literatura da temática, não são apresentados valores para a fixação que tenham uma base científica plausível, apesar de alguns autores estimarem que “deverá” situar-se entre os 40 e os 60 %. O projeto realizou-se para uma gama de 0 – 100%, precavendo assim situações invulgares, mas plausíveis, que possam registar valores mínimos e máximos de fixação.

Relativamente às emissões para o ambiente considera-se duas fontes, a estufa de pintura e a caldeira para a regulação térmica da mesma. A primeira fonte, apenas se realça à influência dos COV's, enquanto para a segunda considera-se além dos COV's, o SO<sub>2</sub>, o NO<sub>x</sub> e o CO, todos estes produtos da combustão.

Conclui-se que as emissões não apresentam qualquer tipo de ameaça, estando os valores das concentrações e caudal mássico bastante inferiores aos valores legislados. De salientar, a necessidade de analisar o benzeno em separado dos restantes COV's de acordo com a legislação em vigo pois apresenta efeitos potencialmente cancerígenos.

Previamente à verificação da conformidade legal das emissões ambientais caracterizou-se a atmosfera de trabalho. Para esta caracterização, necessitou-se de verificar se os contaminantes permaneciam na atmosfera de etapa para etapa, ou se o caudal de ventilação era capaz de os evacuar, o que se confirmou. Portanto para caracterizar a atmosfera de trabalho, apenas se consideram os componentes, que de facto, são utilizados nessa etapa.

Perante os resultados obtidos, podemos concluir que o ambiente da estufa reúne as condições necessárias para o desenvolvimento do processo, uma vez que a concentração dos diversos contaminantes gerados são relativamente baixas comparadas com os seus VLE's, MP e CD, com efeito aditivo, não apresentando, segundo a NP 1796:2007, um risco muito preocupante para a saúde dos intervenientes.

Paralelamente à análise com efeito aditivo, para a verificação da conformidade legal ao nível ocupacional, analisa-se também os componentes individualmente. Esta análise individual auxilia na averiguação dos componentes que mais contribuem para os vários efeitos aditivos analisados. Consultando os resultados, apenas para efeitos de TRS são apresentados valores

merecedores de análise individual, pois ultrapassam para algumas fixações, o valor de acção. Apesar de não apresentar o maior valor de concentração na atmosfera da estufa de pintura, o seu VLE é muito baixo, 0,005 ppm, confirma-se que o componente que mais contribui negativamente é o diisocianato de hexametileno fazendo com que seja o elemento mais perturbador de todos aqueles que apresentam efeitos para o TRS.

Também foi determinado o caudal de ventilação necessário para a evacuação dos contaminantes gerados no interior da estufa, considerando a não utilização da máscara de protecção. Verifica-se, que para todos os efeitos considerados, o valor de caudal de ventilação necessário não ultrapassa o valor de caudal presente na estufa de pintura excepto para efeitos do TRS. Ambos os caudais de ventilação para VLE-MP e VLE-CD, ultrapassam o caudal da estufa de pintura para certas fixações, abaixo de 50%, sendo necessário medidas organizacionais, estruturais e de protecção individual que compensem este défice.

Depois de realizada a verificação da eficiência do caudal de ventilação necessário, analisou-se a eficiência da máscara P<sub>2</sub> utilizada, considerando, segundo o fabricante, uma eficiência de filtração de 90% para COV's e outros contaminantes. Obtiveram-se resultados muito satisfatórios, que asseguram as condições exigidas por Lei relativamente à saúde dos intervenientes, excepto para efeitos de TRS a CD, 15 minutos, para algumas fixações, em que apesar de os valores estarem relativamente abaixo do limite legislado ultrapassam o valor de acção, necessitando de ser monitorizados e avaliados com um período mais rígido do que o normal.

Procedeu-se a uma comparação dos valores obtidos para a ferramenta com um relatório de caracterização de efluentes gasosos, de 2016, realizado por uma empresa externa. Os valores para a concentração e limiar mássico de COV's emitidos, calculados pela ferramenta, corresponderam aos presentes no relatório para fixações de 55 e 60%, corroborando assim o intervalo de fixação, proposto por Gelderman *et al.*, (2007) e aceite pela comunidade científica.

Em suma, considera-se que os métodos estruturais e de protecção individual usados pela empresa superam as expectativas, proporcionando boas condições de trabalho aos trabalhadores, reduzindo, e muito, a concentração de contaminantes na estufa de pintura. Relativamente às emissões ambientais, estas são bastante inferiores em comparação com a legislação em vigor, proporcionando até condições para o aumento destas, se necessário. A validação da ferramenta para a emissão de COV's pela estufa de pintura foi alcançada, podendo assim a empresa recorrer a esta para efetuar previsões de emissão a nível ambiental.

## 5.1 Considerações ao projeto realizado

Sobre o projeto realizado devemos apresentar algumas considerações no que respeita as vantagens e limitações do estudo

Relativamente às FDS, depois de realizado o inventário destas, começou a recolha das percentagens de volume de cada componente dos diversos produtos. No caso do fornecedor da empresa, as FDS não apresentam uma percentagem de volume fixa, mas sim um intervalo entre percentagens, (p ex.  $15\% \leq v \leq 7,5\%$ ). Para efeitos de cálculo considerou-se o pior caso, ou seja, o volume máximo admissível por componente.

Depois de preparada a mistura, o pintor com uma espátula de metal procede à homogeneização da mesma e no final considera-se esta como completa e homogénea. No entanto, esta poderá não o ser, não existindo maneira de o saber analiticamente, mas que para efeitos de cálculo assim foi considerada.

A fixação, apesar de a comunidade considerar que os valores prováveis estão entre os 40 e 60%, considerou-se que poderia variar entre os 0 e 100%, visto que a literatura não apresenta fatos científicos que comprovem o porquê da escolha do 1º intervalo. Em relação à análise e avaliação, pretende-se que a ferramenta analise o pior e o melhor caso, logo considerou-se como gama de variação da fixação de 0-100%.

Considerou-se que o processo ocorre em estado estacionário, ou seja, que as propriedades da estufa, como a temperatura e pressão, o caudal de aplicação e o caudal de ventilação mantêm as mesmas características durante todo o processo, o que nem em todos os momentos se pode verificar. Relativamente ao caudal de ventilação podemos afirmar, que este não varia durante o processo, visto que funciona em contínuo e é devidamente programado para operar com o caudal estabelecido,  $10691 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Quanto ao caudal de aplicação, este mantém-se constante, tal como a pressão de operação do aparelho, 2 bar, mas na mudança de zona de automóvel a pintar (p. ex. porta para pára-lamas), ou um ajuste para uma outra posição, o pintor interrompe a aplicação durante poucos segundos, o que proporciona um regime não estacionário. No entanto, considera-se que o processo ocorre em estado estacionário, mesmo que em outro momento não se verifique, porque num universo de alguns minutos, a existência de regime não estacionário de tão curta duração não é relevante.

## 5.2 Perspetivas futuras

Finalizado o projeto apresentam-se algumas melhorias para as emissões ocupacionais e ambientais:

Propõe-se a substituição dos produtos utilizados com base de solvente pelos de base aquosa, diminuindo automaticamente as emissões tanto a nível ambiental como ocupacional. No entanto, mesmo os produtos de base aquosa, segundo Stone & Tolle (1998), “possuem na sua constituição em volume uma percentagem de COV’s de aproximadamente 15%”, que em alguns produtos corresponde à diminuição de emissão em alguns produtos de 50%. Apesar de a substituição apresentar melhorias ao nível das emissões ambientais e ocupacionais, a nível de produção, a substituição não traz benefícios. Os COV’s possuem uma elevada pressão de vapor, ou seja, evaporam facilmente a temperaturas mais baixas comparativamente à água que demora mais a evaporar necessitando de temperaturas superiores, levando a tempos de processo mais morosos, não sendo assim um facto atrativo para a empresa a nível económico.

Sugere-se a alteração do composto diisocianato de hexametileno de um dos produtos constituintes do verniz, por outro de características semelhantes, mas menos tóxico. Como se pôde constatar, apenas para efeitos do TRS é que a verificação da conformidade legal a nível ocupacional e o caudal necessário de ventilação apresentam valores que suscitam alguma preocupação. Enquanto no primeiro, apesar do limite legal não ser atingido, o valor obtido para algumas fixações está acima do valor de acção necessitando por isso de um maior controlo e de um período de monitorização mais restrito. Quanto ao segundo, o caudal de ventilação necessário para efeitos de TRS é mais elevado do que o verificado na estufa de pintura, levando a que tenha que ser compensado por EPI’s mais eficientes ou outros métodos de carácter estrutural e organizacional. Apesar da concentração do diisocianato de hexametileno não ser a mais elevada, de entre todos os componentes presentes no verniz, o seu VLE é, por larga margem, o mais pequeno, fixando-se nos 0,005 ppm, revelando uma elevada toxicidade para o TRS. Logo, recomenda-se a substituição por um composto idêntico que apresente uma melhor solução para a diminuição de riscos para o TRS.

Apesar das emissões ambientais provenientes da caldeira da estufa não apresentarem valores preocupantes, propõe-se a alteração da mesma, com particular relevo no combustível através da substituição do gasóleo a substituição por gás natural. Apesar do custo da substituição nunca ser inferior a 5000€, os ganhos económicos e ambientais decorrentes desta atenuam o investimento inicial com relativa facilidade. Como vantagem económica tem-se que o gás natural custa cerca de 70% menos que o gasóleo, com base num litro equivalente. A nível ambiental, as emissões de CO<sub>2</sub> e CO sofrem uma diminuição de aproximadamente 20% para o gás natural, o óxido de azoto, NO<sub>x</sub>, a diminuição pode atingir os 40%, não se verificando para o

gás natural emissões de SO<sub>2</sub>. Relativamente à composição, o principal constituinte do gás natural é o metano (83 a 99%), em que o processo de transformação deste em combustível é muito menos exigente em termos energéticos do que os combustíveis convencionais derivados do petróleo. Portanto, a substituição por gás natural, em relação à fatura ambiental, permite não só menores emissões ao nível do consumo, como também menos gastos energéticos ao nível de produção.

## **6. Bibliografia**

- Abeysesera, A.D.A., Shahnava, H. (1988) *'Ergonomics aspects of personal protective equipment: its use in industrially developing countries'*, (pp. 67-79)
- Almeida, T., Fernandes, A., Marques, E., Carneiro, L., Carvalho, M., Xavier, V. (2016) *Guia de seleção de aparelhos de proteção respiratória filtrantes*. Lisboa.
- Akbar-Khanzadeh, Farhang., Bisesi, Michael. (1995). *Comfort of personal protective Equipment*.
- APA. (2017). Guia de legislação das Emissões gasosas. [www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=314](http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=82&sub2ref=314). Accessed 15 May 2017.
- Aquino, C.A.B. (2006) *Identificação de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) emitidos por Florestas na Região Amazônica*. Dissertação do Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- Borrego, Sofia. (2010). *The quality of air at archives and the biodeterioration of photographs*. International Biodeterioration & Biodegradation. (pp.139-145).
- Bowes, S.A., E.G. Mason, & M. Corn. (1993). *Confined space ventilation: Tracer gas analysis of mixing characteristics*. (pp. 639–641).
- Breisch, S.B. (1989). *'PPE: What is ahead?'* Safety & Health (December). (pp. 48-52)
- Cunningham, D. (1996) *Estimation of VOC's emissions*. Journal of Cleaner Production. (pp.225-228).
- Daisey, J.M., Hodgson, A.T., Fisk, W.J., Mendell, M.J., Ten Brinke, J.( 1994). *Volatile organic compounds in twelve California office buildings: classes, concentrations and sources*. (pp. 3557-3562).
- Dantas, M. C. & Ramalho, M. D. (2007). *Jogo de partículas A – Física e química, química bloco 1, 10º/11º ano. 1ª Edição, Texto Editores*. Lisboa.
- Deane, Phyllis. (1973). *A revolução industrial*". Zahar editores.
- Dias, Alexandra., Martins, Cláudia., Jardim, Dília., Marques, Filipa., Anacleto, Teresa. (2011). *Avaliação dos Níveis de Ozono no Ar Ambiente em Portugal*. Edição: APA.
- Dobson, I.D., 1996. *Life cycle assessment for painting processes: putting the VOC issue in perspective*. (pp. 55-58).
- Duggan, A. (1988). *'Energy cost of stepping in protective clothing ensembles'*. Ergonomics, (pp.3-11).



- Geffen, C., Rothenberg, S. (2000). *Suppliers and Environmental Innovation: The Automotive Paint Process*. International Journal of Operations and Production Management, v.20, (pp. 166-186).
- Geldermann, J., Schollenberger, H., Rentz, O., Huppel, G., van Oers, L., France, C., Nebel, B., Clift, R., Lipkova, A., Saetta, S., (2007) . *An integrated scenario analysis for the metal coating sector in Europe*. (pp. 1482-1507).
- Guo, H., Lee, S.C., Chan, L.Y., Li, W.M., (2004). *Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments*. (pp. 57-66).
- Hazel, N. (1997). *A Life-cycle Assessment Study of Automotive Basecoats* (pp. 111-123).
- Health and Safety Executive. (2011). *Controlling airborne contaminants at work: A guide to local exhaust ventilation (LEV)*. London.
- Kapellusch, Jay M. (2014). *Exposure-response relationships for the ACGIH threshold limit value for hand-activity level: results from a pooled data study of carpal tunnel syndrome*. Scandinavian journal of work, environment & health, (pp.406-610).
- LaBar, G. (1990). *'OSHA plans updates of PPE rules'* .Occupational Hazards (pp.51-53)
- Ligor, T. Górecka H., Buszewski, B., (1998). *Sorbents Trapping Organic Pollutants*. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. Edição 4.
- Lisboa, H.M. (2007). *Controle da poluição atmosférica: ventilação industrial*.Edição 2.
- Leikauf, G.D., (2002). *Hazardous air pollutants and asthma*. Environmental Health Perspective. (pp. 505-526).
- MacIntyre, A.J. (1990) *Ventilação industrial e controle da poluição*, Edição Guanabara. Rio de Janeiro.
- Martins, D.O. (2004). *Estudo do controle de emissões de compostos orgânicos voláteis em tanques de armazenamento de produtos químicos*. (Dissertação Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processamento Industrial). Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Mesquita, A.L., Guimarães, F.A & Nefussi, N. (1988) *Engenharia de ventilação industrial*, Edição CETESB, São Paulo.
- Miguel, Alberto Sérgio S. R. (2014). *Manual de Higiene e Segurança do Trabalho*, edição 13. Porto : Porto Editora.

- MinKim, Y., Harrad, S., Harrison, R.M., 2001. *Concentrations and sources of VOCs in urban domestic and public microenvironments*. Environmental. (pp. 997-1004).
- Grupo NORS. (2017). <http://www.nors.com/pt/sobre-nos/quem-somos/>. Accessed 15 May 2017
- Novoselac, Atila., Srebric, Jelena. (2002). *A critical review on the performance and design of combined cooled ceiling and displacement ventilation systems*.
- NP EN 1796. (2007). *Segurança e Saúde do Trabalho: Valores limite de exposição profissional a agentes químicos*, edição 4.
- Nunneley, S.A. (1989) 'Heat stress in protective clothing: interactions among physical and physiological factors'. Environmental Health. (pp. 52-57)
- Papasavva, Stella. (2001) *Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis*. Progress in Organic Coatings.
- Pontrelli. G.J. (1977) *Partial analysis of comfort's gestalt*.
- Prendi, Lindita., Henshaw, Paul., Tam, Edwin.(2006) *Automotive coatings with improved environmental performance*. International journal of environmental studies (pp.463-471.)
- Ohura, T., Amagai, T., Senga, Y., Fusaya, M., (2006). *Organic air pollutants inside and outside residences in Shimizu, Japan: Levels, sources and risks*. Science of the Total Environment, (pp. 485-499).
- OHSAS 18001. (2007). *Sistemas de gestão da segurança e da saúde do trabalho - Requisitos 18001*.
- Osborne, W. C. & Turner, C. G. (1970) *Woods Practical Guide to Fan Engineering*. Woods of Colchester, 1970.
- Queiroz, S. (2010). *Tratado de toxicologia ocupacional*. 1ª edição. Rio de Janeiro.
- Ribeiro, Marcela Gerardo., Filho, Walter. & Riederer, Elena. (2011) *Avaliação qualitativa de riscos químicos : orientações básicas para o controle da exposição a produtos químicos em fundições*. São Paulo, Fundacentro.
- Ribeiro, Vítor Rocha. (1998). *Reparação automóvel e manual de prevenção*. edição 1. Lisboa.
- Rumchev, S. (2017) *Health risk assessment of indoor air quality, socioeconomic and house characteristics on respiratory health among women and children of Tirupur, South India*.

- Santos, Thereza., Carvalho; Câmara, João. (2002) *GEOBrasil 2002: perspectivas do meio ambiente no Brasil*. Edição Ibama.
- Schirmer, W.N.; Quadros, M.E. (2010). *Compostos orgânicos voláteis biogênicos emitidos a partir de vegetação e seu papel no ozono troposférico urbano*. (pp.25-42).
- Schirmer, W.N. & Lisboa, H.M.( 2008). *Química da Troposfera: constituintes naturais, poluentes e suas reações*. (pp. 37-46).
- Sobrinho, Fernando., (1996) *Ventilação local exaustora em galvanoplastia* São Paulo, FUNDACENTRO.
- Stone, Kenneth R., Tolle, Duane A. (1998) *Life cycle assessment of chemical agent resistant coatings*. The International Journal of Life Cycle Assessment.
- Tanaka, P.L., Oldfield, S., Neece, J.D., Mullins, C.B., Allen, D.T.,( 2000). *Anthropogenic sources of chlorine and ozone formation in urban atmospheres*. Environ. (pp. 4470-4473).
- UNEP-ILO-WHO. (2009). *Environmental Health Criteria -Principles for Modelling Dose Response for the Risk Assessment of Chemicals*. Geneve.
- Valle Pereira e Filho, H., Melo, C. (1992). *Ventilação industrial*, Apostila do curso de Engenharia Mecânica da UFSC.
- Wallace, L.A., Pellizzari, E., Leaderer, B., Zelon, H., Sheldon, L., (1987). *Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products*. (pp. 385-393)
- Wang, S., Ang, H.M., Tade, M.O., (2007). *Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation: State of the art*. Environmental (pp. 694-705)
- Wei, S., Su, Y., Shen, G., Tao, S., Min, Y., Wei, W., (2013). *Emission factors of particulate matter and elemental carbon from rural residential wood combustion* (pp. 29-35)
- Weisel, C.P., (2002). *Assessing exposure to air toxics relative to asthma*. Environment. Health Perspective. (pp. 527-537).
- Weiss, K., (1997). *Paint and coatings: a mature industry in transition*. (pp. 203-245).
- World Health Organization. (2005). *The World Health Report " Make every mother and child count"*.
- World Health Organization, (2006). *Air quality guidelines of particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*.

## **Anexo 1 Processo Produtivo da Pintura Automóvel**

Na figura 11 apresentam-se as estufas de pintura, grande e pequena, à esquerda e à direita, respetivamente, e o forno de pintura, em baixo, presentes na empresa.



Figura 11. Representação das duas estufas de pintura, em cima, e do forno, em baixo

Na figura 12 representa-se a zona de preparação de tinta, onde se pode ver, entre outros, a balança, o computador com o *software* e a zona de armazenamento dos produtos.



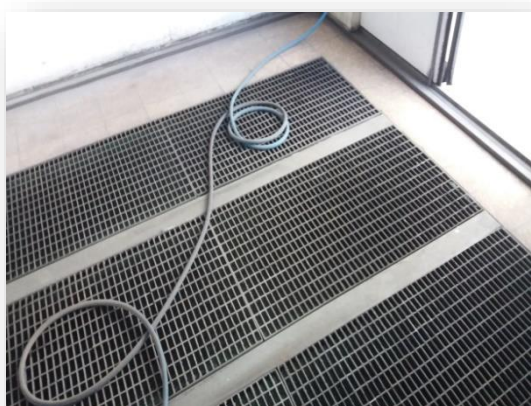
Figura 12. Sala de preparação do primário, tinta e verniz

Na seguinte figura, apresenta-se um automóvel na estufa de pintura pronto a pintar, devidamente protegido, excepto na peça a pintar, o tejadilho



**Figura 13. Automóvel no interior da estufa de pintura pronto para o processo produtivo**

A estufa de pintura, como referido, possui um sistema de ventilação, com insuflação e extracção, no teto e no chão, respetivamente.



**Figura 14. Sistema de ventilação da estufa de pintura, com a zona extração e insuflação**

Processo produtivo de pintura da mala de um automóvel, na estufa pequena, onde se pode observar o sistema de ventilação e alguns dos EPI's usados.



Figura 15. Processo produtivo de pintura de uma mala

## Anexo 2 Desenvolvimento da equação do caudal necessário, $Q_{\text{necessário}}$

Mesquita *et al.*, (1998) e MacIntyre (1990), desenvolveram a seguinte equação para a determinação do caudal necessário de ventilação na presença de contaminantes, para que a concentração verificada não ultrapasse o VLE, como demonstra a que

$$Q_{\text{necessário}} = G \times \frac{V_{\text{molar}}}{M_M} \times \frac{10^6}{VLE} \times k \quad \text{Eq.(25)}$$

$Q_{\text{Necessário}}$  = Caudal necessário de ventilação diluidor ( $m^3 \cdot h^{-1}$ )

$G$  = Taxa de geração de contaminante ( $kg \cdot h^{-1}$ )

$M$  = Massa molecular ( $g \cdot mol^{-1}$ )

$V_{\text{Molar}}$  = Volume Molar ( $dm^3 \cdot mol^{-1}$ )

$VLE$  = Valor Limite de Exposição de MP ou CD ( $ppm$ )

$k$  = Factor de segurança

Como se pôde verificar ao longo do projeto, existem componentes presentes na atmosfera de trabalho, que em contacto com o ser humano têm os mesmos efeitos, considerado efeito aditivo.

Quando se considera efeito aditivo, não existem  $VLE'_{\text{exp}}$  tabelados, considerando-se apenas, que a soma do quociente da concentração dos vários componentes com os respetivos  $VLE'$ s deve ser menor que a unidade.

Deste modo, é necessário desenvolver a equação (25), de forma a se obter o caudal necessário de ventilação em função dos efeitos aditivos verificados.

### 1. Conversão de ppm para $mg \cdot m^{-3}$

A equação, na sua constituição, converte o VLE de ppm para  $mg \cdot m^{-3}$ , como se pretende, a comparação da concentração verificada com o seu VLE, opta-se por manter este em  $mg \cdot m^{-3}$  para facilidade de cálculo.



## 2. Estado Estacionário

Ao longo do trabalho é explicado, apresentando as diferentes razões, a assumção de estado estacionário, durante o período de aplicação dos produtos, como demonstra a equação (13).

$$c = \frac{G}{Q} \quad \text{Eq.(13)}$$

$Q$  = Caudal volúmico de ventilação ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )

$G$  = Taxa de geração de contaminante ( $mg \cdot s^{-1}$ )

$C$  = Concentração instantânea de contaminante na atmosfera da estufa ( $mg \cdot m^{-3}$ )

Como a equação (25), apresenta  $Q_{\text{necessário}}$  em função taxa de geração de contaminante, podemos apresentá-la, em função da concentração de contaminante na atmosfera de trabalho, através do desenvolvimento da equação (13).

$$c = \frac{G}{Q} \leftrightarrow G = c \times Q \quad \text{Eq.(13)}$$

Aplicando o desenvolvimento da equação (13), na equação (25), obtém-se a seguinte equação final.

$$Q_{\text{necessário}} = \frac{c}{VLE} \times Q \times k \times 10^6 \leftrightarrow Q_{\text{necessário}} = \sum \frac{c}{VLE} \times Q \times k \times 10^6 \quad \text{Eq.(29)}$$

Assim, alcança-se a equação pretendida, que apresenta o  $Q_{\text{necessário}}$  em função do quociente da concentração de contaminante, pelo respetivo VLE, podendo assim calcular o caudal para uma exposição a componentes com efeito aditivo e sem efeito aditivo.

## Anexo 3 Desenvolvimento da ponderação para os tempos de exposição

Em muitas empresas, quando se realizam recolhas de contaminantes presentes na atmosfera de trabalho, para amostragem, esta, na maioria das vezes, não respeita o tempo de exposição requerido pelos VLE's estabelecidos, no Decreto-Lei e da Norma.

Na empresa, também não se verifica a presença dos trabalhadores, durante o tempo de exposição requerido, para uma possível verificação da conformidade legal direta, relativamente ao VLE-MP e muitas vezes para o VLE-CD. Quando se verificam estes casos, normalmente, realiza-se um método de cálculo analítico, para a ponderação da concentração de contaminantes para os tempos pretendidos.

O cálculo que se apresenta a seguir, realizou-se para o VLE-MP, obrigatoriamente, e para o VLE-CD, visto que nem para este, se verificou um tempo de exposição contínuo que perfizesse os quinze minutos necessários de análise.

As equações (22), (23) e (24), presentes na metodologia de cálculo, são sujeitas a valores de concentração ponderados.

$$VLE - MP \rightarrow \frac{C_1}{VLE-MP_1} + \frac{C_2}{VLE-MP_2} + \frac{C_3}{VLE-MP_3} \leq 1 \quad Eq. (22)$$

$$VLE - CD \rightarrow \frac{C_1}{VLE-CD_1} + \frac{C_2}{VLE-CD_2} + \frac{C_3}{VLE-CD_3} \leq 1 \quad Eq. (23)$$

$$VLE - CD \rightarrow \frac{C_1}{VLE-CD_1} + \frac{C_3}{VLE-CD_3} + \frac{C_6}{5 \times (VLE-MP_6)} \leq 1 \quad Eq. (24)$$

O primeiro passo para estes cálculos é a recolha dos tempos de durabilidade do processo de aplicação do produto, como demonstra a tabela seguinte.

Tabela 15. Tempo de aplicação dos produtos

Tempo de aplicação			Tempo de ponderação	
Primário	Tinta	Verniz	VLE-MP	VLE-CD
180 s	420 s	420 s	8 h	0,25 h
0,05 h	0,12 h	0,12 h		

Depois de apurados os tempos de aplicação, procede-se à verificação, nas diferentes etapas do processo, se existem componentes repetidos, se se verificar a repetição terá que se ter em consideração.

Apresenta-se agora duas equações, a primeira, para o etilbenzeno que apenas está presente no primário e a segunda, para o acetato de n-butilo presente no primário e no verniz, como se pode verificar pela tabela 15.

Para o etilbenzeno:

$$C_{ponderada} = \frac{C_{inst.primário} \times t_{primário}}{t_{ponderação (MP ou CD)}} \quad Eq. (30)$$

Para o acetato de n-butilo:

$$C_{ponderada} = \frac{C_{inst.primário} \times t_{primário} + C_{inst.verniz} \times t_{verniz}}{t_{ponderação (MP ou CD)}} \quad Eq. (31)$$

Relativamente às equações, a concentração usada para o cálculo é a verificada na atmosfera da estufa, da etapa referente. Quanto ao tempo de ponderação, poderá ser o de MP ou o de CD, dependente do VLE a verificar a conformidade legal.

Seguidamente, ao cálculo da concentração ponderada dos diferentes contaminantes, pode-se então proceder à verificação da conformidade legal aplicando as equações (21),(22) e (23), e posterior comparação com a legislação em vigor.

## **Anexo 4 Balanço de massa no interior da estufa de pintura**

## Estufa de Pintura

### Produto:

#### Variáveis dos componentes:

$m_{i,j}$                        $i \rightarrow \text{Destino}$   
 $m_{i,j}$                        $j \rightarrow \text{Componente}$   
 .....  
 $m_{i,j+1}$

#### Equações utilizadas:

(9)                      (15)  
 (12)                    (16)  
 (13)                    (17)  
 (14)                    (18)

### Destino do produto no interior da estufa:

#### Produto:

$m_{total,1}$   
 $m_{total,2}$   
 $m_{total,3}$   
 $m_{total,j+1}$

#### Automóvel:

$m_{veículo,1}$   
 $m_{veículo,2}$   
 $m_{veículo,3}$   
 $m_{veículo,j+1}$

#### Reservatório:

$m_{reservatório,1}$   
 $m_{reservatório,2}$   
 $m_{reservatório,3}$   
 $m_{reservatório,j+1}$

#### Estufa de trabalho:

$m_{estufa,1}$   
 $m_{estufa,2}$   
 $m_{estufa,3}$   
 $m_{estufa,j+1}$

#### EPI's:

$m_{EPI's,1}$   
 $m_{EPI's,2}$   
 $m_{EPI's,3}$   
 $m_{EPI's,j+1}$

### Emissão ambiental:

#### Filtro:

$m_{filtro,1}$   
 $m_{filtro,2}$   
 $m_{filtro,3}$   
 $m_{filtro,j+4}$

#### Emitido para o ambiente:

$m_{amb,1}$   
 $m_{amb,2}$   
 $m_{amb,3}$   
 $m_{amb,j+1}$

#### Caldeira de aquecimento:

$E_{SO2}$   
 $E_{CO}$   
 $E_{NOx}$   
 $E_{COV's}$

### Exposição Ocupacional:

#### Exposição Ocupacional:

$m_{EPI's,1}$   
 $m_{EPI's,2}$   
 $m_{EPI's,3}$   
 $m_{EPI's,j+1}$

#### Exposição Ocupacional no interior da estufa:

$m_{EPI's,j} = m_{estufa,j} \times \text{Filtração da máscara}$   
 Filtração da máscara  $\rightarrow 10\%$

## Anexo 5 Tabelas e Gráficos de apoio

Na tabela 16, apresentam-se os contaminantes, COV's, bem como a sua percentagem em volume total em cada mistura.

**Tabela 16. COV's e respetiva percentagem de volume**

Mistura	Componentes na mistura	Percentagem em volume na mistura (%)	Percentagem total de COV's no produto (%)
<b>Primário</b>	Xileno	20	39
	Acetato de n-butilo	11	
	Etilbenzeno	5,7	
	1,2,4 - Trimetilbenzeno	1,6	
	Tolueno	0,16	
	Acrilato de 2 - etilexilo	0,16	
<b>Tinta</b>	1-metoxi-2-propanol	2,3	11
	1-Propanol	1,6	
	Pentano-1-ol	3,2	
	2-Dimetilaminoetanol	0,25	
	Dimetil Isopropilamina	0,21	
	Eter monometílico de dipropilenoglicol	1,8	
	Acetona	0,46	
	Polipropileno glicol	1,2	
<b>Verniz</b>	Acetato de n-butilo	18,6	58
	5-metil-2-hexanona	20,1	
	Nafta de petróleo ( > 0,1% benzeno)	5,2	
	1,2,4 - Trimetilbenzeno	3,8	
	Xileno	1,7	
	Diisocianato de hexametileno	7,4	
	Acetato de 2-butoexietilo	0,3	
	2,6-Dimetil-4-heptanona	1,0	
	4,6-Dimetilheptano	0,1	
	Acetato de 1-metil-2-metoxietilo	0,1	

Nas três figuras seguintes, apresenta-se a evolução dos fluxos de massa com a fixação para as três misturas, primário, tinta e verniz.

#### Primário:

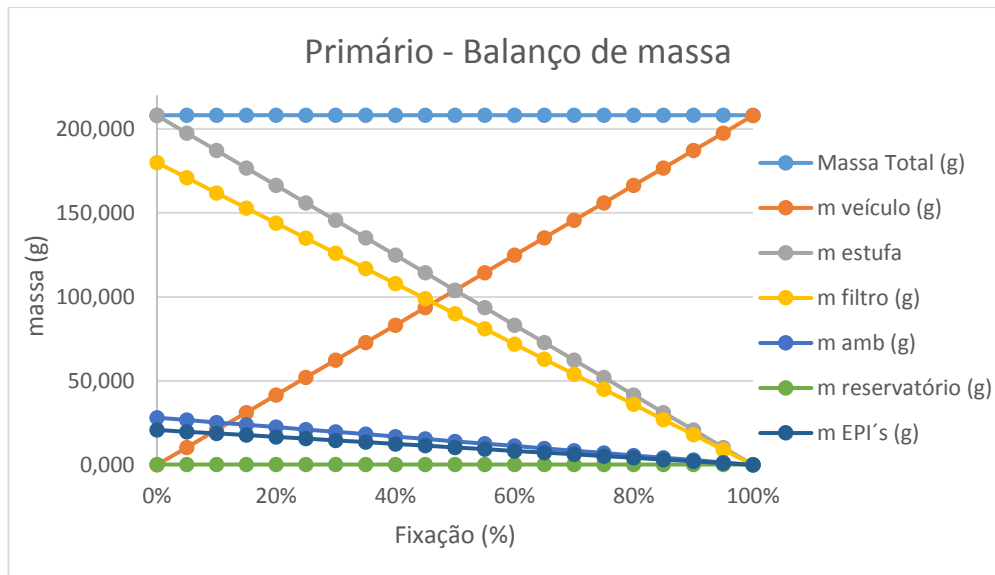


Figura 16. Evolução do Balanço de massa do primário

#### Tinta:

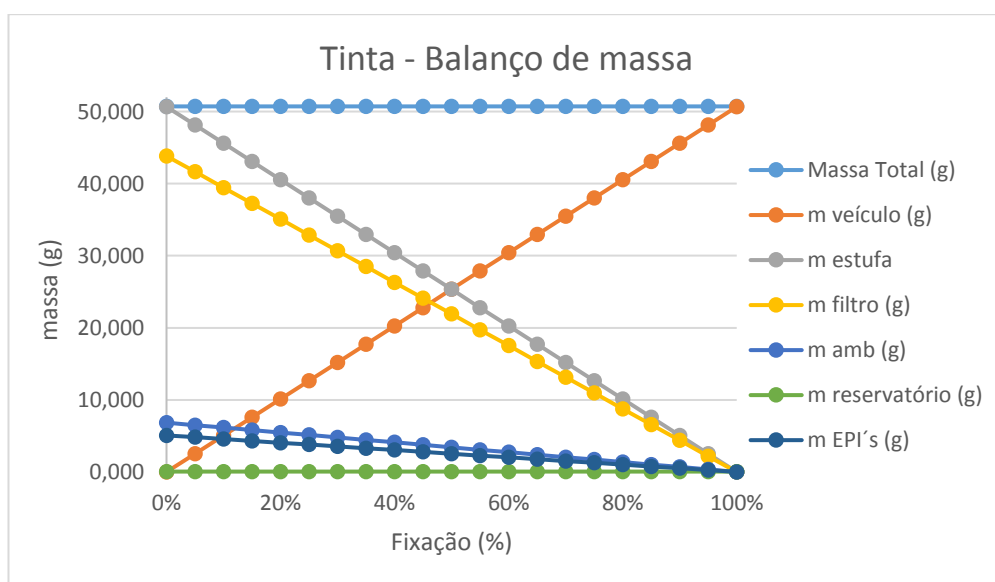


Figura 17. Evolução do Balanço de massa da tinta

### Verniz:

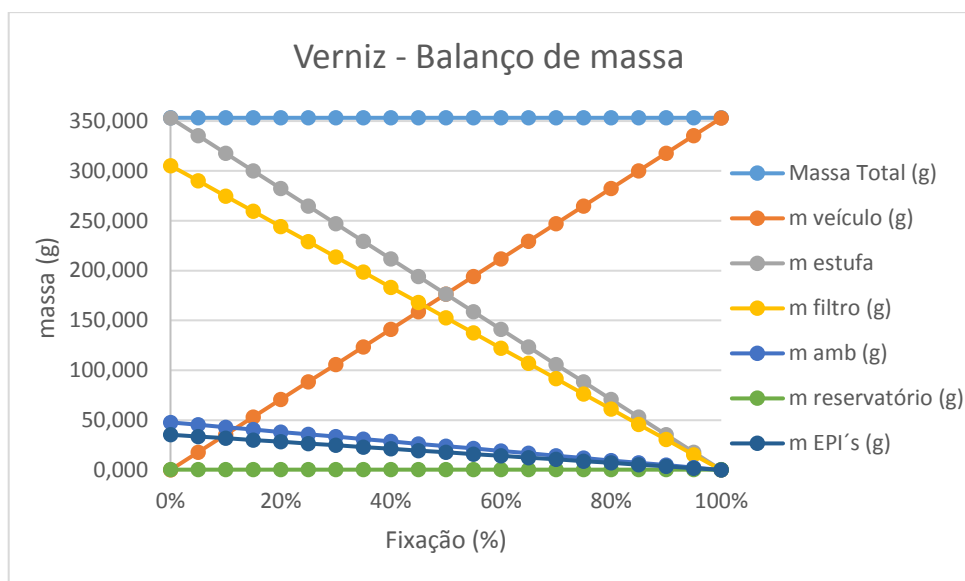
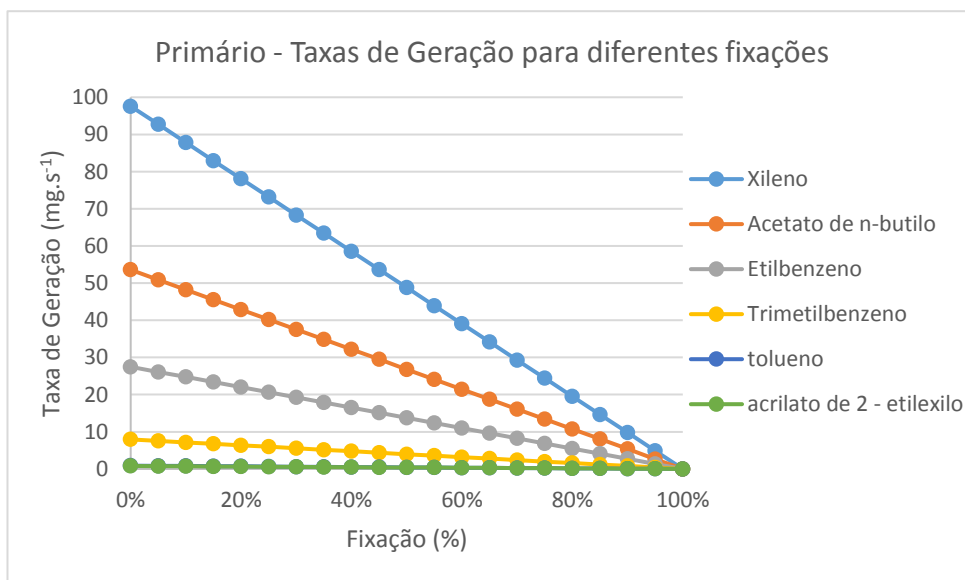


Figura 18. Evolução do Balanço de massa do verniz

Nas figuras 17 e 18, apresenta-se a variação da taxa de geração G de contaminante para a atmosfera de trabalho, para o primário e a tinta.

### Primário:





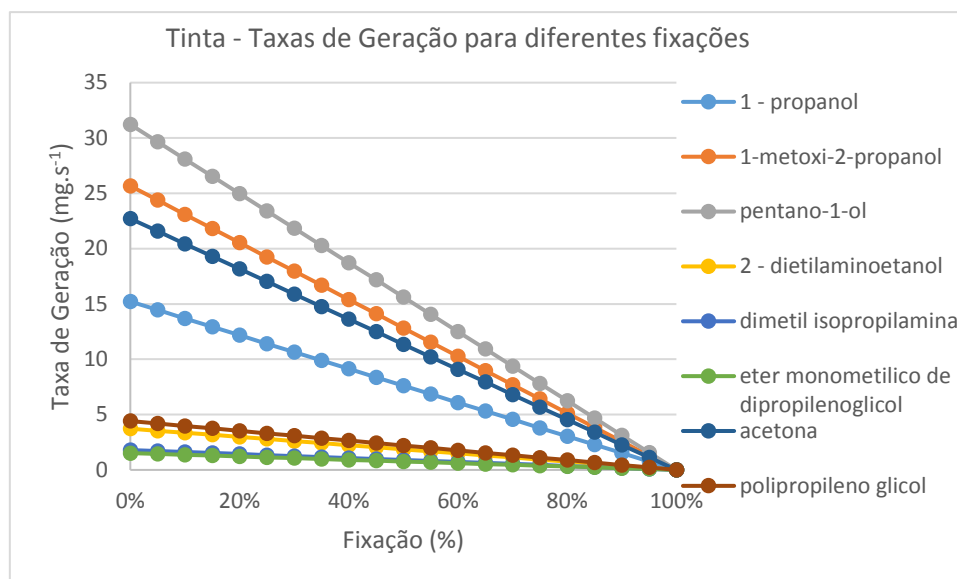


Figura 19. Variação da taxa de geração para diferentes fixações para o primário

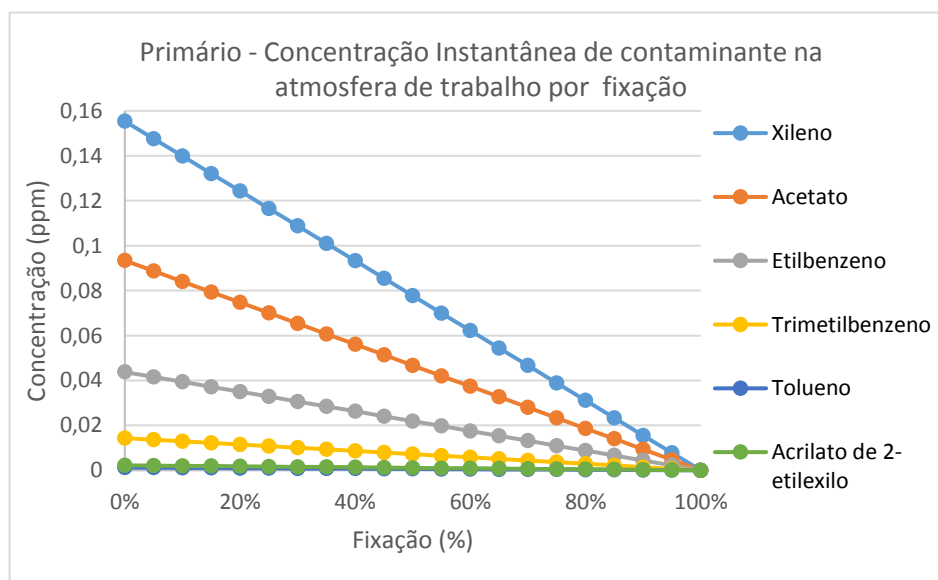
Tinta:

**Figura 20. Variação da taxa de geração para diferentes fixações para a tinta**

Seguidamente, apresenta-se dois gráficos com a variação da concentração instantânea na atmosfera de trabalho para o primário e a tinta.

**Primário:**

**Figura 21. Variação da concentração instantânea de contaminante por fixação para o primário**



## Tinta:

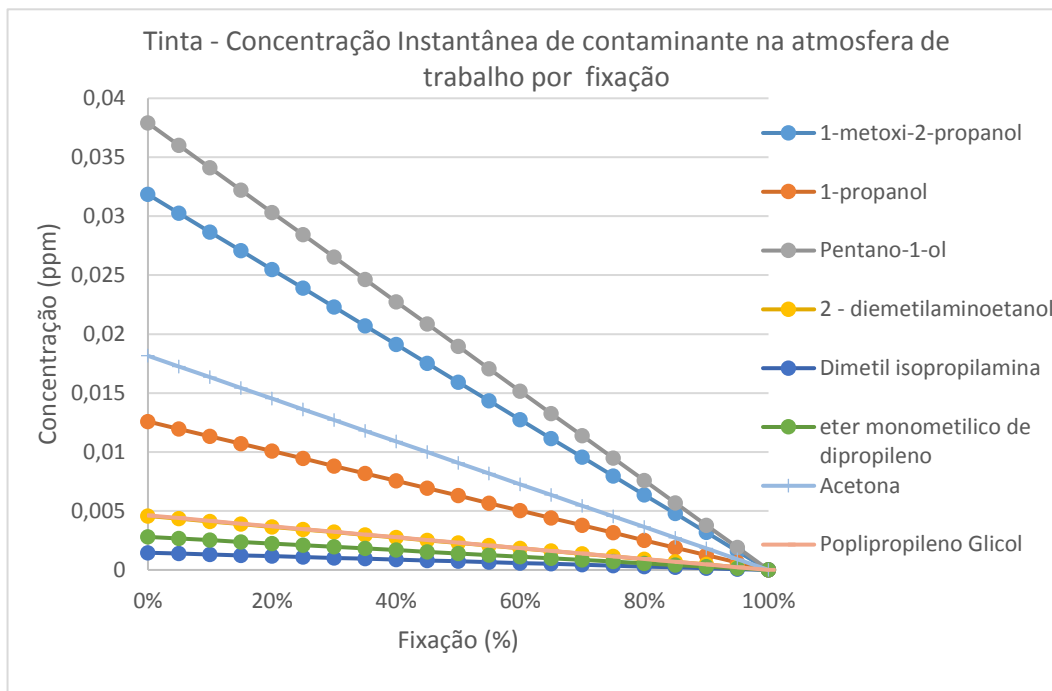


Figura 22. Variação da concentração instantânea de contaminante por fixação para a tinta

Para a caracterização da atmosfera de trabalho necessita-se de verificar se os contaminantes passam de etapa para etapa, ou se a ventilação é necessária para a evacuação e quanto tempo esta demora.

Apresentam-se a tabelas e os gráficos, de cada etapa, excepto do verniz que está presente nos resultados, que permitem obter a capacidade de evacuação. A tabela apenas apresenta, o tempo de evacuação para o momento em que a concentração atinge o zero absoluto, para o contaminante mais representativo na mistura, xileno, 1-metoxi-2-propanol e acetato de n-butilo para o primário, tinta e verniz, respetivamente.

Tabela 17. Tempo de evacuação de contaminante sem geração de contaminante

Tempo (s)	Primário	Tinta	Verniz
	Xileno	1-metoxi-2-propanol	Acetato de n -butilo
14	$5,88 \times 10^{-303}$	$1,21 \times 10^{-303}$	$1,68 \times 10^{-302}$
15	0,00	0,00	0,00

**Primário:**

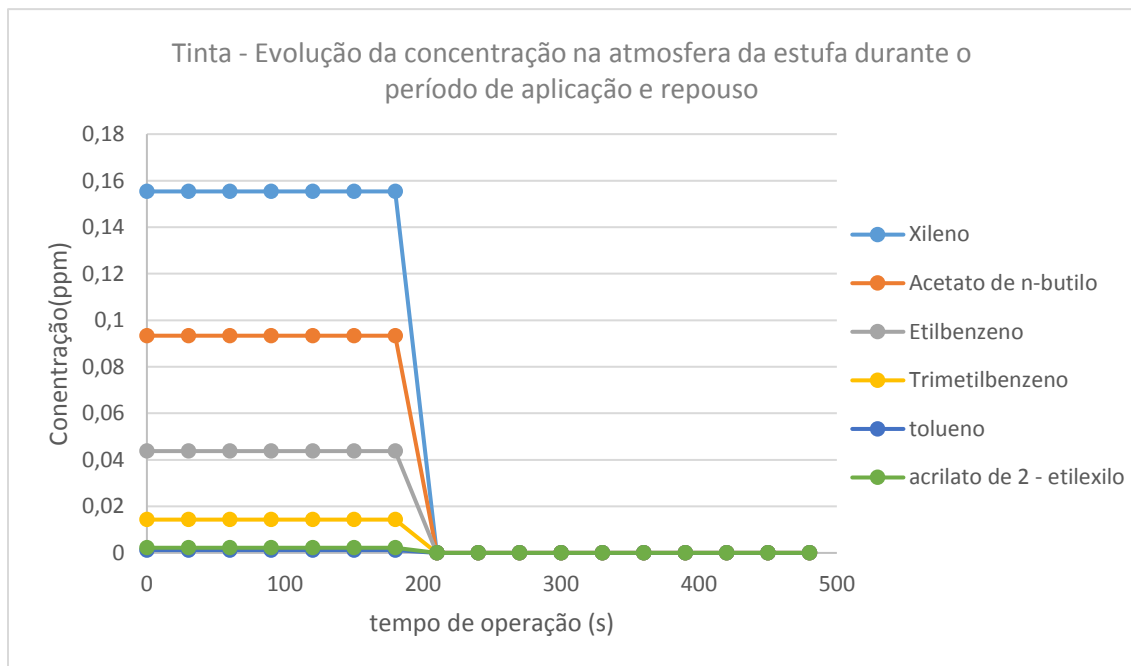


Figura 23. Evolução da concentração na atmosfera dde trabalho durante o tempo de aplicação e repouso

**Tinta:**

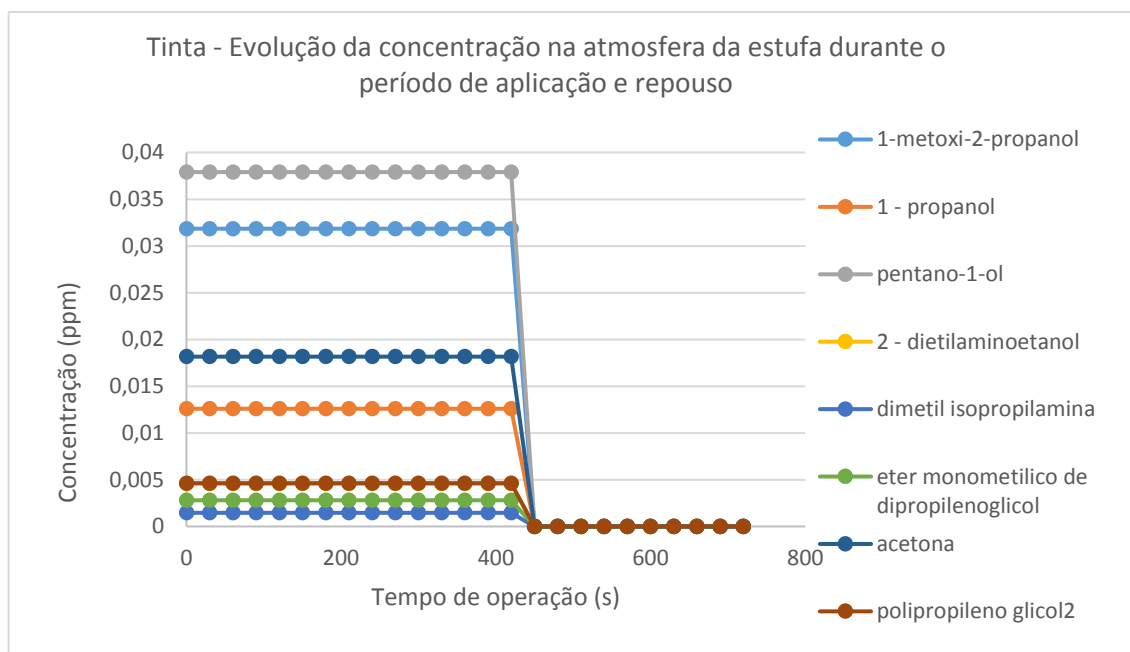


Figura 24. Evolução da concentração na atmosfera da estufa durante o período de aplicação e repouso

## Anexo 6 Legislação ambiental

O Decreto-Lei nº 78/2004, estabelece o regime de prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera, no entanto, tem na sua parte integrante as duas portarias nº 677/2009 e 675/2009 que estabelecem os VLE's aplicáveis.

Apresenta-se as portarias nº 677/2009 e 675/2009 para regulamentação dos VLE<sub>em</sub> para as caldeiras de aquecimento.

**Tabela 18. VLE<sub>em</sub> para a caldeira (Adaptado das portarias nº 677/2009 & 675/2009, 2017)**

Combustível	VLE <sub>em</sub> (mg.(N.m) <sup>-3</sup> )			
Gasóleo	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	COV's
	500	500	1700	200

Embora a portaria que regulamenta a emissão de poluentes para caldeiras de aquecimento seja a nº 677/2009, esta apresenta VLE gerais, para os compostos de NO<sub>x</sub> e COV's, que apenas estão disponíveis na portaria nº 675/2009, pois é esta que regulamenta os VLE gerais.

Seguidamente apresentam-se os VLE<sub>em</sub> e os limiares mássicos máximos e mínimos aplicáveis aos contaminantes emitidos pela estufa de pintura, presentes na portaria nº 675/2009 e 80/2006, respetivamente.

**Tabela 19. VLE<sub>em</sub> e Limiares mássicos para a estufa de pintura**

	COV's	Benzeno	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
VLE <sub>em</sub> (mg.(N.m) <sup>-3</sup> )	200	0,1	N.D.	500	500
Limiar mássico máximo (kg.h <sup>-1</sup> )	2	30	100	30	50
Limiar mássico mínimo (kg.h <sup>-1</sup> )	25	Não fixado	5	2	2

O valor dos VLE<sub>em</sub>, para a estufa de pintura, só necessitam de ser cumpridos, quando se verificar um caudal mássico maior do que o limite mássico mínimo, sendo obrigatória a monitorização, quando este é maior que o limite mássico máximo.